

(12) NACH DEM VERTRÄG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
12. Februar 2004 (12.02.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/012841 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B01D 9/02**

CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/008369

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. Juli 2003 (29.07.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(30) Angaben zur Priorität:

02017135.1	30. Juli 2002 (30.07.2002)	EP
2002/0509	1. September 2002 (01.09.2002)	BE
103 01 342.3	16. Januar 2003 (16.01.2003)	DE

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(71) Anmelder und

(72) Erfinder: HOFFMANN, Kurt [DE/BE]; Montenau 87,
B-4770 Amel (BE).

(74) Anwälte: MEYERS, Hans-Wilhelm usw.; Postfach 10 22
41, 50462 Köln (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,

WO 2004/012841 A1

(54) Title: PROTEIN CRYSTALLISATION METHOD

(54) Bezeichnung: PROTEINKRISTALLISATIONSVERFAHREN

(57) Abstract: The invention relates to a method for the crystallisation of macromolecules in a three-phase system using a container, said system containing a lower aqueous phase, a middle phase and an upper hydrophobic phase which has a lower density than the lower aqueous phase. An aqueous solution of the macromolecules is produced in the middle phase, said solution forming a fourth phase and being incubated.

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Kristallisation von Makromolekülen in einem Dreiphasensystem unter Verwendung eines Gefäßes, enthaltend eine untere wässrige Phase, eine mittlere Phase und eine obere hydrophobe Phase mit geringerer Dichte als die untere wässrige Phase, wobei eine wässrige Lösung der Makromoleküle in die mittlere Phase gegeben wird und eine vierte Phase bildet und inkubiert wird.

Proteinkristallisationsverfahren

5 Die Erfindung betrifft Verfahren zur Kristallisation von Makromolekülen in einem Dreiphasensystem, entsprechende Vorrichtungen, ein Dreiphasensystem, sowie die Verwendung in automatisierten Kristallisationsverfahren.

Die Kenntnisse über die dreidimensionale Struktur biologischer Makromoleküle haben einen dramatischen Impakt sowohl auf die Entwicklung der modernen
10 Biotechnologie als auch in der therapeutischen Behandlung von Krankheiten. So kann z. B. die Bestimmung der dreidimensionalen Struktur eines Proteintargets entscheidende Informationen für die Identifikation und Entwicklung neuer Wirkstoffe liefern, die mit dem jeweiligen Proteintarget interagieren.

15 Die Aufklärung dreidimensionaler Strukturen biologischer Makromoleküle erfolgt am genauesten durch die Röntgenstrukturanalyse. Voraussetzung für die Strukturaufklärung ist, dass die Makromoleküle, wie Proteine oder deren Komplexe, als Einkristalle zur Verfügung stehen.

Des weiteren können Kristallisationsmethoden zur Ableitung und Generierung
20 von kristallinen Formulierungen rekombinanter Wirkstoffe beitragen, wobei die Kristallmorphologie einen nicht unerheblichen Einfluß auf die pharmacokinetischen Eigenschaften einer Formolierung haben kann. Auch die Polymorphismenuntersuchung von niedermolekularen Verbindungen synthetischen oder natürlichen Ursprungs kann über Kristallisations-
25 experimente realisiert werden. Ein weiteres Anwendungsfeld der Kristallisation liegt in deren Eigenschaft als Aufreinigungsmethode für biologische Makromoleküle als auch von niedermolekularen Verbindungen. Kristallisationsmethoden können sowohl im Klein- als auch im Großmaßstab durchgeführt werden.

- 2 -

Üblicherweise wird versucht, Kristalle aus gesättigten Lösungen hochgereinigter Proteine in Anwesenheit einer konzentrierten Lösung entsprechender Salze oder Polymere (Polyethylenglycole usw.) zu gewinnen. Dabei wird den Proteinlösungen das für die Löslichkeit notwendige Wasser in 5 einem bestimmten Zeitablauf mehr oder weniger entzogen, so dass durch eine Fluktuation der Proteinmoleküle Assoziate unterschiedlicher Größe entstehen können. Das Entstehen von Nukleationskeimen ist die Voraussetzung für die Bildung von Kristallen. Diese Vorgänge werden normalerweise empirisch erprobt durch die Auswahl von verschiedenen Proteinkonzentrationen, von 10 verschiedenen Salzen in variierenden Ionenstärkebedingungen, pH-Werten, Puffern, Polymeren, organischen Lösungsmitteln, Temperaturen usw., wobei ein Multiparameterproblem vorliegt. (McPherson, A., Crystallization of Biological Macromolecules, Cold Spring Harbor Press, New-York, 1999)

Es stehen verschiedene Kristallisierungsverfahren zur Verfügung. Bei 15 sogenannten Batch-Verfahren wird in einem geeigneten Probenträger das zu kristallisierende Protein als konzentrierte Lösung einer vorher deponierten wässrigen Lösung zugegeben oder umgekehrt (Chayen, N. E.; Stewart, P. D. S.; Maeder, D. L.; Blow, D. M.; J. Appl. Cryst., 1990, 23, 297-302; Chayen, N. E.; J. Crystal Growth. 1999, 196, 434-41). Da bei diesem System keine 20 Anreicherung der Niederschlagsreagenzien über einen längeren Zeitraum stattfindet, sondern die Endkonzentrationen bei der Applikation der Proteinlösung direkt eingestellt wird, spricht man von einem „Batchverfahren“. Diese Methode ermöglicht keinen kontinuierlichen Eintritt in die metastabile Region eines Phasendiagramms. Somit geht der große Vorzug der klassischen 25 Kristallisierungsverfahren verloren (kinetische Eigenschaften und dynamische Endpunktbestimmung, siehe Figur 1).

Eine abgewandelte Methode zum Batchverfahren besteht darin, an Stelle des reinen Paraffinöls ein z.B. mit Poly-Dimethylsiloxan (DMS) versetztes Paraffinöl zu verwenden, so dass eine kontinuierliche Wasserdiffusion aus der Lösung 30 stattfindet (D'Arcy A.; Elmore, C.; Stihle, M.; Johnston, J. E.; J. Crystal. Growth. 1996, 168, 175-80). Die Methode erlaubt jedoch nicht die Einstellung eines

Endpunktes, da es sich nicht um ein geschlossenes System handelt. Der große Nachteil ist, dass die Proteinlösung über einen bestimmten Zeitraum komplett austrocknet. Sie ist somit für die Kristallogenese nur bedingt verwendbar (siehe Figur 1).

5 Dagegen wird bei klassischen Methoden (hanging/sitting-drop) in der Regel ein Tropfen einer Proteinlösung (versetzt mit Reservoirlösung) in einem geschlossenen Gefäß mit einem Reservoir einer wässrigen Lösung einer vorgegebenen höheren Konzentration unter Luftabschluss inkubiert. Mit der Zeit verdunstet Wasser aus dem Tropfen, so dass die Proteinkonzentration
10 kontinuierlich zunimmt. Ein Endpunkt wird erreicht, wenn der Tropfen mit dem Reservoir im Gleichgewicht steht. Über die Konzentration des überschüssigen Reservoirs lässt sich somit der Endpunkt einstellen.

Die Bereitstellung von Kristallen, die für die Strukturaufklärung geeignet sind, ist jedoch oft mit großen Schwierigkeiten verbunden oder nach den bekannten
15 Methoden überhaupt nicht möglich. Häufig kommt es vor, dass eine geordnete Kristallisation aus nicht bekannten Gründen ausbleibt. Das Wechselspiel physikalisch-chemischer Vorgänge, die sich während der Kristallogenese abspielen, ist bis heute nicht eindeutig beschrieben, da sich die Kristallisation bisher einer konsequenten Analyse entzog. Wenn Kristalle erhalten werden,
20 sind diese oft nicht von ausreichender Größe oder Qualität.

In Anbetracht der großen Fortschritte, die in den letzten Jahren bei der Aufklärung/Identifikation von Gen- und Proteinsequenzen durch neue und automatisierte Verfahren erzielt wurden, ist es wünschenswert, die zahlreichen neuen Proteine, die jetzt exprimiert werden können, systematisch mit
25 automatisierten Verfahren zu untersuchen. Auch haben Teilbereiche der Röntgenstrukturanalyse in den letzten Jahren gewaltige Effizienzsteigerungen erfahren. Hierzu trug unter anderem die Bereitstellung von Röntgenstrahlungsquellen hoher Brillanz (Synchrotrone), sowie die Bereitstellung effizienter Hard- und Software für die Dateninterpretation bei.
30 Die bekannten Verfahren zur Kristallisation von biologischen Makromolekülen konnten bislang jedoch nicht auf befriedigende Art und Weise als

- 4 -

automatisierte Hochdurchsatzverfahren durchgeführt werden (Chayen, N. E. und Saridakis, E.; Acta Cryst. 2002, D58, 921-27). Es besteht daher ein starkes Bedürfnis nach Verfahren zur Kristallisation von Proteinen, die einfach automatisiert werden können und somit ein Screening der mittlerweile 5 verfügbaren Proteine und die systematische Erzeugung von Kristallen ermöglichen.

Bei automatisierten Diffusionsexperimenten nach der Hanging-Drop- oder Sitting-Drop-Methode werden geschlossene Systeme z.B. durch silikonisierte Glasdeckel oder mit selbstklebenden transparenten Folien verschlossen. Bei 10 der Hanging-Drop-Methode muss ein Tropfen jeweils auf die Unterseite eines Deckels pipettiert werden, der Deckel umgedreht werden und ohne Beeinträchtigung des Tropfens über einem Flüssigkeitsreservoir aufgesetzt werden, das luftdicht verschlossen werden muss. Für den Roboter ist dies mit relativ vielen aufwändigen Arbeitsschritten verbunden.. Derartige 15 automatisierten Verfahren sind nicht attraktiv hinsichtlich Kosten, Geschwindigkeit und Reproduzierbarkeit und lassen sich nur schlecht mit kleinsten Probenvolumina realisieren (siehe auch Chayen und Saridakis, 2002).

Insbesondere bei der Anwendung kleinsten Probenvolumina ist darauf zu achten, dass die Lösung vor Ausdunstung geschützt sind, solange die Systeme 20 nicht z.B. durch Applikation selbstklebender Folien oder durch Deckel, d.h. mechanisch, verschlossen sind.

Eine Vielzahl von verschiedenen Vorrichtungen für die Kristallisation von biologischen Makromolekülen existieren. So beschreibt z.B. das US-Patent 5,096,676 eine Vorrichtung für die Kristallisation im sitzenden Tropfen, die z.B. 25 mittels einer selbstklebenden Folie verschlossen werden kann. Weitere Vorrichtungen werden in den US-Patenten 5,130,105; 5,221,410; 5,400,741; 5,419,278; 6,039,804, sowie in den Anmeldungen US-2002/0141905; US- 2003/0010278, WO/00/60345, WO/01/88231 und WO/02/102503 beschrieben.

Sämtliche Vorrichtungen erlauben klassische vapor-diffusion Kristallisationsexperimente und müssen mechanisch verschlossen werden, z.B. mittels einer selbstklebenden Folie.

Bei automatisierten Batch-Verfahren werden von Robotern die in den 5 entsprechenden Screening-Ansätzen verwendeten Lösungen z.B. unter Paraffinöl deponiert (Chayen, N. E. and Blow D. M.; J. Crystal Growth. 1992, 122, 176-80). Die wässrige Lösung ist somit direkt vor Ausdunstung geschützt. Dies ist insbesondere bei der Verwendung von kleinsten 10 Probenvolumina wichtig, da durch geringste Wasserverluste die eingestellten Konzentrationen erheblich variieren können und somit die Reproduzierbarkeit beeinflussen (Störeinflüsse). Solche automatisierten Verfahren sind mit den üblichen Nachteilen von Batchverfahren verbunden, da keine 15 Konzentrationsänderung und im Falle einer Konzentrationsänderung kein Endpunkt einstellbar ist. Die Anwendung adaptiver, auf statistischer Analyse beruhender Kristallisierungsverfahren setzen jedoch eine genaue Kenntnis der 20 Endkonzentration voraus.

Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, ein Kristallisierungsverfahren bereitzustellen, dass die benannten Nachteile der Verfahren nach dem Stand 25 der Technik überwindet. Insbesondere soll ermöglicht werden, mit relativ wenig Aufwand und relativ hoher Erfolgswahrscheinlichkeit möglichst homogene und große Kristalle von Makromolekülen zu erhalten.

Das erfindungsgemäße Verfahren soll auch als automatisiertes Verfahren zum Screening von Kristallisierungsansätzen geeignet sein. Insbesondere soll das 25 automatisierte erfindungsgemäße Verfahren für Roboter einfach und mit relativ wenigen Arbeitsschritten durchführbar sein und die beschriebenen Nachteile automatisierter Kristallisierungsverfahren überwinden.

Das der Erfindung zugrundeliegende Problem wird überraschenderweise gelöst durch ein Verfahren zur Kristallisation von Makromolekülen in einem Dreiphasensystem unter Verwendung eines Gefäßes, enthaltend eine untere 30 wässrige Phase, eine mittlere Phase und eine obere hydrophobe Phase mit geringerer Dichte als die untere wässrige Phase, wobei eine wässrige Lösung

- 6 -

der Makromoleküle in die mittlere Phase gegeben wird und dabei eine vierte Phase bildet und inkubiert wird.

Gegenstand der Erfindung sind auch Verfahren gemäß den Ansprüchen 1 bis 16, eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 23, ein

5 Dreiphasensystem nach Anspruch 24 und 25, Kristalle gemäß Anspruch 17, Verwendung gemäß Anspruch 26 sowie die Strukturen gemäß Anspruch 27.

Der Erfindung liegt die Bereitstellung und Verwendung eines Dreiphasensystems zugrunde. Die wässrige Lösung der Makromoleküle bildet dabei eine vierte Phase, die sich nicht unmittelbar mit der unteren Phase

10 vermischt. Im allgemeinen wird die vierte Phase in einer Menge zugegeben, dass sie einen Tropfen bildet. Vorzugsweise wandert die vierte Phase nach Einbringen in das Gefäß zur Phasengrenze zwischen der unteren und mittleren Phase. Eine Vermischung mit der unteren Phase, die ja ebenfalls eine wässrige Phase ist, findet nicht statt. Vielmehr verbleibt die vierte Phase mindestens so

15 lange im System, bis der Kristallisationsprozess einsetzt. In alternativen Ausführungsformen positioniert sich die vierte Phase an der Phasengrenze der mittleren und oberen Phase oder innerhalb der mittleren Phase. Wichtig ist, das keine unmittelbare Vermischung mit der unteren wässrigen Phase stattfindet. Der Begriff „vierte Phase“ bezeichnet allgemein die wässrige

20 Lösung des Makromoleküls, auch wenn das Dreiphasensystem aus unterer, oberer und mittlerer Phase noch nicht vollständig ausgebildet ist.

Kurzbeschreibung der Figuren

Figur 1 beschreibt physikalisch-chemische Zusammenhänge in einem

25 Phasendiagramm.

Figur 2 zeigt den schematischen Aufbau eines Dreiphasensystems.

Figur 3 zeigt eine Photographie für drei Dreiphasensystemen.

Figur 4 zeigt in Vergrößerung eine Lösung eines Makromoleküls.

- 7 -

Figur 5 zeigt in Großaufnahme Kristalle, die gemäss der Anordnung in Figur 4 erhalten wurden.

Figur 6 zeigt eine spezielle Ausführungsform.

Figur 7 zeigt ein Photo des erfindungsgemäßen Systems, bei dem drei Ausbuchtungen an einem Reservoir angeordnet sind.

Figur 8 zeigt einen Vergleich verschiedener Bedingungen am Beispiel der Glucose Isomerase und der Xylanase.

Figur 9 zeigt einen erfindungsgemäßen Probenträger.

Figur 10 zeigt einen vertikalen Schnitt durch den erfindungsgemäßen Probenträger.

Figur 11 zeigt eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Probenträgers.

Figur 12 zeigt schematisch eine Seitenansicht eines vertikalen Schnittes durch den Probenträger nach Figur 11.

Figur 13 zeigt eine Probenposition in dem erfindungsgemäßen Probenträger.

Figur 14 zeigt schematisch eine Seitenansicht eines diagonalen Schnittes durch den Probenträger gemäss Figur 13.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

Figur 1 zeigt vereinfacht und schematisch das unterschiedliche Verhalten der gängigen Kristallisierungsverfahren in einem Phasendiagramm. L, M und U bezeichnen jeweils die lösliche, metastabile und unstabile Region des Phasendiagramms.

Figur 2 zeigt den schematischen Aufbau eines erfindungsgemäßen Dreiphasensystems mit einer tropfenförmigen vierten Phase, die an der Phasengrenze zwischen der oberen und mittleren Phase lokalisiert ist. Erfindungsgemäß findet eine Diffusion von Wasser nach oben im wesentlichen nicht statt. I, II und III entsprechen der oberen, mittleren und unteren Phase.

Figur 3 zeigt eine Photographie von drei erfindungsgemäßen Dreiphasensystemen, bei denen jeweils die Lösung des Makromoleküls tropfenförmig zwischen der oberen und mittleren Phase lokalisiert ist.

Figur 4 zeigt in Großaufnahme eine Lösung des Makromoleküls, die sich an der 5 Phasengrenze zwischen der mittleren und unteren Phase positioniert hat.

Figur 5 zeigt für den selben Ansatz wie Figur 4 in Großaufnahme die Kristalle, die sich in einem erfindungsgemäßen Dreiphasensystem gebildet haben. Die Lysozymkristalle sind mit polarisiertem Licht und mit einem um 90° versetzten Analysator detektierbar.

10 Die Phasen des Kristallisationssystems werden schematisch anhand von Figur 2 und photographisch durch Figur 3 verdeutlicht. In Figur 3 ist eine vierte tropfenförmige Phase zwischen den Phasengrenzen der mittleren und oberen Phasen positioniert. Die Phasengrenze ist in Figur 3 nicht deutlich zu erkennen, jedoch zeigt Figur 4 eine Großaufnahme einer vierten Phase an der 15 Phasengrenze der mittleren und unteren Phase. In diesem metastabilen Zustand verbleibt die vierte Phase über einen längeren Zeitraum und dringt nicht in die untere wässrige Phase ein.

Die vierte Phase vermischt sich solange nicht vollständig mit der unteren Phase, bis die Kristallisation in der vierten Phase oder an einer Phasengrenze 20 zur vierten Phase einsetzt. Vorzugsweise ist die vierte Phase für mindestens 6, 12 oder 24 Stunden unterscheidbar, besonders bevorzugt für mindestens 2, 4, 6, 14, 21 oder 30 Tage.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist das verwendete Gefäß so ausgestaltet, dass die vierte Phase nicht in Kontakt mit der unteren Phase 25 kommen kann. Die vierte Phase ist dann mechanisch stabilisiert. Dabei ist die vierte Phase vorzugsweise in einem Teilbereich lokalisiert, der vom übrigen Probengefäß durch seitliche Wände abgetrennt ist. Die vierte Phase ist somit in einer Ausbuchtung oder Ausgrenzung lokalisiert. Figur 6 zeigt schematisch, wie eine solche Ausführungsform erfindungsgemäß realisiert werden kann. In 30 dieser Ausführungsform ist die Lösung des Makromoleküls durch eine

- 9 -

Ausbuchtung im Gefäß daran gehindert, sich weiter zu der unteren Phase hin zu bewegen. Die Diffusion von H₂O erfolgt in Pfeilrichtung. I, II und III entsprechen der oberen, mittleren und unteren Phase.

Der Tropfen kann aufgrund einer physischen Barriere nicht in die untere Phase gelangen. Erfindungsgemäß ist es möglich, in einem Dreiphasensystem mehr als eine Makromoleküllösung als getrennte Phase zur Kristallisation zu bringen. Figur 7 zeigt eine erfindungsgemäße Ausgestaltung des Gefäßes mit drei Vertiefungen. Dargestellt ist ein Photo von oben auf ein erfindungsgemäßes System, bei dem drei Ausbuchtungen gemeinsam an einem Reservoir angeordnet sind. In der mittleren Ausbuchtung sind deutlich sichtbare Kristalle entstanden. Die Ausbuchtungen sind mit dem Reservoir über eine durchgängige mittlere Phase verbunden, durch die H₂O zum Reservoir diffundieren kann. In der mittleren Vertiefung liegt eine räumlich von der unteren Phase getrennte vierte Phase vor. Derartige Ausgestaltungen sind erfindungsgemäß auch als Multiwellplatten realisierbar, die die gleichzeitige oder sequentielle Untersuchung einer Vielzahl von Proben erlauben.

In einer weiteren Ausführungsform kann die untere wässrige Phase auch durch eine Phase mit hygrokopischen, in Bezug auf die Lösung des Makromoleküls wasseranziehenden Eigenschaften ersetzt/komplementiert werden. Die hygrokopische Substanz kann fester und/oder flüssiger Natur sein. Im Gegensatz zu Batchverfahren findet durch den Wasserentzug eine Konzentrationsänderung im System statt, die ebenfalls je nach Wahl der Natur und Quantität der hygrokopischen Substanz mit einem Endpunkt einhergeht.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird ein Dreiphasensystem vor Zugabe der vierten Phase erstellt. In einer weiteren Ausführungsform wird die vierte Phase in den Teilbereichen, die vom übrigen Probengefäß abgetrennt sind, zuerst vorgelegt und anschließend das Dreiphasensystem erstellt. In einem Screeningtest wird dann die Proteinlösung der wässrigen vierten Phase in einen Teilbereich zugegeben und kann durch Entzug von H₂O mit der unteren Phase wieder ins Gleichgewicht kommen. In einer weiteren Ausführungsform kann die obere Phase über die Ränder der Probengefäße hinaus appliziert

- 10 -

werden, wonach die untere Phase in jedes Probengefäß appliziert wird. Das System ist somit von Anfang an vor Ausdunstung geschützt. Von der unteren Phase kann dann ein Tropfen aufgenommen und in die abgetrennten Teilbereiche appliziert werden. Die Proteinlösung kann dann zu dem Tropfen

5 in dem abgetrennten Teilbereich appliziert werden, gefolgt von der zweiten Phase, die in jedes Probengefäß gegeben wird, ohne jedoch über den Rand der einzelnen Probengefäße zu führen.

In einer bevorzugten Ausführungsform befinden sich die Ausbuchtungen oder Ausgrenzungen und/oder deren Seitenwand oder Seitenwände auf

10 verschiedenen Höhen-Niveaus, wodurch je nach der applizierten Menge der zweiten Phase nur eine oder aber auch mehrere Ausbuchtungen oder Ausgrenzungen sich über die zweite Phase mit der unteren Phase, der Reservoirlösung, ausgleichen können. Die Ausbuchtungen oder Ausgrenzungen, die mit der unteren Phase kommunizieren, verhalten sich wie
15 klassische vapour-diffusion Methoden. Die Ausbuchtungen, die sich nicht mit der Reservoirlösung ausgleichen, verhalten sich wie klassische Mikrobatch – Methoden, da sie z.B. von Paraffinöl umgeben sind. Somit ist es möglich, in nur einem Arbeitsaufwand in einer Probenposition eines Probenträgers sowohl einen klassischen Ansatz als auch einen Mikrobatch-Ansatz zu realisieren.

20 Aus den hier gezeigten Vorgehensweisen wird ersichtlich, dass der Aufbau der Kristallisationsexperimente in einer Vielzahl von Varianten realisiert werden kann.

Durch die obere Phase findet über die Dauer des Kristallisierungsvorgangs im wesentlichen keine Diffusion von H₂O aus dem Gefäß statt. In einer
25 bevorzugten Ausführungsform enthält die obere Phase Paraffinöl. Es kann aber jedes andere Öl oder jede andere Flüssigkeit verwendet werden, die in der Lage ist, als obere Phase die Ausdünstung von Wasser aus dem System einzuschränken. In einer weiteren Ausführungsform ist die oberste Phase eine Folie oder ein Deckel, die in der Lage sind die Ausdünstung von Wasser aus
30 dem System einzuschränken.

- 11 -

Die mittlere Phase wird so ausgewählt, dass eine Diffusion von H₂O von der vierten Phase in die unterste Phase stattfindet. Daher nimmt die Konzentration des Makromoleküls in der vierten Phase kontinuierlich zu. Da das Gesamtsystem im wesentlichen kein Wasser verliert, kann durch die Auswahl 5 der Zusammensetzung der wässrigen unteren Phase ein Endpunkt für die Kristallisation eingestellt werden, bei dem die untere und die vierte Phase sich im Gleichgewicht befinden.

Die mittlere Phase kann auch aus komplexen Gemischen, z.B. verschiedener Viskositäten und/oder chemischer Natur bestehen. Des weiteren darf die 10 mittlere Phase die diffusionshemmenden Eigenschaften der oberen Phase nicht unverhältnismäßig mindern.

Die mittlere Phase enthält in bevorzugten Ausführungsformen Hydroxy-terminiertes Poly-Dimethylsiloxan und/oder Phenylmethyl-Polysiloxane, insbesondere Phenylmethyl-Dimethyl-Polysiloxane. Bei der Wahl der 15 Flüssigkeit für die mittlere Phase spielt insbesondere deren Viskosität sowie im Falle des Phenylmethilsilikonöls das Verhältnis der Methyl- zu den Phenylgruppen eine Rolle.

Die untere wässrige Phase enthält vorzugsweise Salze, Puffersubstanzen, Polymere und/oder organische Lösungsmittel.
20 Die wässrige Lösung des Makromoleküls enthält in bevorzugten Ausführungsformen Salze, Puffersubstanzen, Polymere und/oder organische Lösungsmittel.

In einer bevorzugten Ausführungsform enthält die wässrige Lösung des Makromoleküls abgesehen vom Makromolekül selbst die gleichen Bestandteile 25 wie die untere wässrige Phase, jedoch in geringerer Konzentration.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird die wässrige Lösung des Makromoleküls durch die Kombination eines bestimmten Volumens der unteren Phase mit einem bestimmten Volumen der wässrigen Lösung des Makromoleküls erstellt.

In einer bevorzugten Ausführungsform hat die vierte Phase ein Volumen zwischen 1 pl und 10 µl, bevorzugt 100 pl bis 2 µl, weiter bevorzugt zwischen 10 und 500 nl.

Die Makromoleküle der vierten Phase, die erfindungsgemäß kristallisiert werden, sind in bevorzugten Ausführungsformen Proteine, DNA, RNA, Komplexe von Makromolekülen, Proteinkomplexe, Protein/Ligandenkomplexe, DNA/Ligandenkomplexe, Protein/RNA-Komplexe, Protein/DNA-Komplexe, Viren oder Virenfragmente. Allgemein können erfindungsgemäß Makromoleküle, sowie sonstige größere Moleküle, biologischen oder synthetischen Ursprungs, kristallisiert werden.

Gegenstand der Erfindung sind auch Kristalle von Makromolekülen, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erzeugt werden. Das Verfahren der Erfindung ist auch ein Herstellungsverfahren für Kristalle von Makromolekülen.

Gegenstand der Erfindung sind auch Strukturen von Makromolekülen, die bei der Untersuchung von Kristallen, die durch das erfindungsgemäße Verfahren erzeugt wurden, ermittelt werden.

Gegenstand der Erfindung ist auch ein Dreiphasensystem zur Kristallisation von Makromolekülen, bei dem in einem Gefäß drei Phasen übereinander vorliegen, wobei diese eine untere wässrige Phase, eine mittlere Phase und eine obere hydrophobe Phase mit geringerer Dichte als die untere wässrige Phase sind. Denkbar sind auch Gefäße, bei denen die Phasen nebeneinander liegen, z.B. in Mikrofluidiksystemen. Die drei Phasen sind vorzugsweise flüssig. Erfindungsgemäß sind jedoch auch andere Ausführungsformen durchführbar. So kann die untere Phase beispielsweise gelartig oder fest sein. Das erfindungsgemäße Dreiphasensystem (mit oder ohne vierte Phase) kann auf alle möglichen Weisen etabliert werden. So kann zum Beispiel die untere wässrige Phase zuerst vorgelegt werden, oder später unterschichtet werden. Erfindungswesentlich ist nur, dass ein im wesentlichen stabiles System zur Kristallisation erhalten wird, bei dem die Phasen möglichst sauber voneinander getrennt sind.

- 13 -

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht den Erhalt von relativ gleichmäßigen und großen Kristallen. Das Verfahren ist einfach, schnell durchführbar und in hohem Masse reproduzierbar, wobei das Problem der Verdunstung auch bei Verwendung geringer Proteinmengen nicht gegeben ist.

5 Je nach Ausführungsform bestehen keine oder nur geringe Wandkontakte mit dem Probenträger, was zu einer geringeren Nukleationsrate und somit zu größeren Kristallen führt. Die Proteintropfen besitzen eine homogene Form und weisen im Vergleich zu klassischen Verfahren weniger Störeffekte auf, was Verfahren der Bildaufnahme- und Bildbewertung vereinfacht. Durch die

10 Präsenz der zweiten Phase wird die oft bei klassischen Verfahren entstehende Haut vermieden, welche den Tropfen umgibt, was eine leichtere Handhabung und Isolierung der Kristalle ermöglicht. Durch die Wahl der mittleren Phase steht ein zusätzlicher Parameter bezüglich der Dynamik der Einstellung des Endpunktes zur Verfügung, der die Nukleationsrate mitbestimmt.

15 Je nach Ausführungsform kann das System nach der Beobachtung eines Nukleationseignisses aus dem übersättigten Zustand geführt werden, indem der unteren Phase als Reservoirlösung zum Beispiel eine bestimmten Wassermenge zugegeben wird. Dies kann insbesondere die Ausbildung weiterer Nukleationskeime unterbinden und somit zu größeren Proteinkristallen

20 führen. Nachdem das Kristallwachstum des/der initialen Kristallisationskeim(e) sich durch Erreichen des Gleichgewichtszustandes verlangsamt, kann unter Zugaben eines Konzentrates der Ausfällungsreagenz oder einer hygroskopischen Substanz in die Reservoirlösung das Kristallwachstum graduell wieder initiiert und weiter gefördert werden, ohne eine erneute

25 Nukleation zu initiieren. Dies führt zu Einkristallen substantieller Größe. Im Gegensatz zu beschriebenen Methoden (Chayen, N. E.; J. Crystal Growth. 1999, 196, 434-41), ist durch die flüssige Natur der Phasen das umständliche Öffnen von geschlossenen Systemen nicht mehr vonnöten. Desweitern kann in einer Ausführungsform die hier beschriebene Kristallzucht unter

30 Inanspruchnahme eines kontinuierlichen Monitoring, realisiert werden, welches neben der Charakterisierung der Lösungsparameter, wie z.B. der Bestimmung des zweiten Virialkoeffizienten, auch die Detektion von Nukleationskeimen zur

- 14 -

Aufgabe hat. Insbesondere Verfahren der dynamischen Lichtstreuung eignen sich neben den klassischen Bildanalyseverfahren zur Detektion von Nukleationsereignissen, da diese bereits sehr früh Nukleationskeime detektieren können (Rosenberger, F.; Vekilov, P. G.; Muschol, M.; Thomas, B. R.;
5 Journal of Crystal Growth, 1996, 168, 1-27; Saridakis, E.; Dierks, K.; Moreno, A.; Dieckmann, M. W.; Chayen, N. E.; Acta Crystallographica, 2002, D58, 1597-1600; Spraggon, G.; Lesley, S. A.; Kreusch, A.; Priestle, J. P.; Acta Crystallographica, 2002, D58, 1915-1923).

Der Diffusionsprozess kann des weiteren durch Abpipettieren der mittleren
10 Phase gestoppt werden, indem eine ausreichende Menge der mittleren Phase entnommen wird und die flüssige Verbindung zwischen dem Tropfen, welcher die vierte Phase bildet und der unteren Phase im Reservoir abreißt. In einer bevorzugten Ausführungsform können initiale Lösungsparameter bestimmt werden, und anschließend der Diffusionsprozess durch Zugabe der mittleren
15 Phase unter die obere Phase initialisiert werden.

Insbesondere die Bestimmung initialer Lösungsparameter, wie z.B. des zweiten Virialkoeffizienten müssen so realisiert werden, dass keine Konzentrationsänderung die Lösungsparameter beeinflußt. Der zweite Virialkoeffizient ermöglicht Rückschlüsse auf die intermolekulare Wechselwirkungen zwischen Makromolekülen, was die Grundlage der Nichtidealität einer Lösung hinsichtlich ihres osmotischen Druckes ist. Ein positiver Virialkoeffizient verweist auf repulsive, ein negativer Virialkoeffizient auf attraktive Wechselwirkungen. Dabei ist bekannt, dass ein leicht negativer Virialkoeffizient oft die Kristallisation fördert, ein stark negativer Wert jedoch zu einer weniger geordneten Ausfällung führt (George, A.; Wilson, W. W.; Acta Crystallographica, 1994, D50, 361-365; George, A.; Chiang, Y.; Guo, B.; Arabshahi, A.; Cai, Z. Wilson, W. W.; Methods in Enzymology, 1997, 276, 100-110). Da für die Bestimmung des zweiten Virialkoeffizienten eine statische Laserstreuichtmessung über eine Konzentrationsreihe des Makromoleküls bei definierten Lösungsparametern realisiert wird, wie z.B. einer konstanten Salzkonzentration und einem konstantem pH, ist es wichtig, dass die Lösungsparameter zwischen mehreren Messungen konstant bleiben und nicht

durch eine Diffusion von Wassermolekülen zu der Reservoirlösung beeinflusst werden. Dies ist im initialen Batchmodus des neuen Verfahrens möglich, wonach der Diffusionsprozess erst nach Abschluß sämtlicher Messungen innerhalb eines Probenarrays durch Zugabe der zweiten Phase initiiert wird.

5 Die Erfindung betrifft insbesondere auch die Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens, der Vorrichtung und/oder des Dreiphasensystems zur automatisierten Kristallisation oder zum automatisierten Screening. Das erfindungsgemäße Verfahren ist in hohem Masse geeignet für die Verwendung im Rahmen automatisierter, Roboter-
10 gestützter Verfahren. Es sind im Vergleich zu den klassischen Methoden deutlich weniger Arbeitsschritte nötig. Der Roboter muss lediglich die Lösungen nacheinander pipettieren. In einer bevorzugten Anwendungsform sind die Lösungen bereits vorpipettiert und die Lösung des Makromoleküls muß lediglich zugefügt werden. Die Applikation von Glasdeckeln, das Drehen der
15 Deckel, oder die Versiegelung des Systems mit Folie oder ähnlichem sind nicht mehr erforderlich. Trotzdem geht die Kristallisation mit einem dynamisch einstellbaren Endpunkt einher.

Gegenstand der Erfindung ist auch eine Vorrichtung zur Kristallisation von Makromolekülen, bei der eine Vielzahl von Probengefäßen zu einem
20 Probenträger angeordnet sind, wobei der Probenträger einen durchgängigen Rand aufweist, der höher angeordnet ist als die Öffnungen der Probengefäße. Innerhalb der Probengefäße liegt die untere wässrige Phase vor, die von der mittleren Phase überschichtet ist. Da der Probenträger einen erhöhten Rand aufweist, können alle Probengefäße zugleich in einem einzigen Arbeitsschritt
25 mit der oberen Phase überschichtet werden. Die obere Phase schließt dabei jedes Probengefäß nach oben hin ab und bildet darüber eine einzige verbundene Phase, die den gesamten Probenträger durchzieht. Auf diese Weise ist es nicht mehr erforderlich, in jedes einzelne Probengefäß die obere Phase zu applizieren. In einer Ausführungsform können auch zwei oder
30 mehrere Probengefäße über die zweite Phase miteinander kommunizieren, indem z.B. eine Kerbe in die seitliche Abgrenzung zweier oder mehrerer Probengefäße realisiert wird. Wird bei dieser Ausführungsform nur in ein-

Probengefäß die untere Phase appliziert und die untere Phase in den anderen Probengefäßen z.B. durch die mittlere Phase ersetzt, kann je nach Distanz zum Probengefäß mit der unteren Phase die Dynamik der Endpunktbestimmung beeinflusst werden und somit die Nukleationsrate. Dies ermöglicht ein
5 Screening des Einflusses der Dynamik der Endpunktbestimmung auf die Güte der Protein-Einkristalle.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist in jedem Probengefäß ein Teilbereich (Ausbuchtung) vorhanden, der von dem übrigen Teil des Probengefäßes durch seitliche Wände abgetrennt ist, wobei die seitlichen
10 Wände niedriger sind als die seitlichen Wände des Probengefäßes. Solche Ausführungsformen sind in den Figuren 11 bis 14 dargestellt.

Figur 11 zeigt einen erfindungsgemäßen Probenträger (1) mit Probengefäßen (6), seitlichen Wänden der Probengefäße (4) und einem erhöhten Rand (2). In den Probengefäßen (6) sind Teilbereiche (5) vorhanden, die von dem übrigen
15 Teil des Probengefäßes durch seitliche Wände (3) abgetrennt sind.

Ein solcher Probenträger kann leicht realisiert werden, indem zuerst ein Korpus eines Probenträgers z.B. durch bekannte Spritzguss-Verfahren realisiert wird, der bis auf die Glasplatte sämtliche Teile des Probenträgers enthält. Dabei sollten die niedrigen internen Ausbuchtungen innerhalb eines jeden
20 Probenträgers über kleine Stege gehalten werden, die so ausgelegt sind, dass sie ein Befüllen der äußeren Ausgrenzung durch eine einmalige Applikation der oberen Phase ermöglichen. Dem Fachmann ist dabei bekannt, wie bei der Ausgestaltung des Probenträgers dessen Formstabilität im Produktionsprozess gewahrt wird. Der fertige Probenträger wird dann durch Aufkleben der
25 Glasplatte auf den Boden des Korpus erhalten. Um eine hydrophile Interaktion mit der vierten Phase zu unterdrücken, kann die Glasplatte durch bekannte Verfahren der Oberflächenbehandlung, wie z.B. einer Silikonisierung oder Silanisierung, modifiziert werden.

Figur 12 zeigt schematisch eine Seitenansicht eines vertikalen Schnittes durch
30 einen Probenträger nach Figur 11. Die Merkmale 1 bis 6 sind verwirklicht wie bei Figur 11. In die abgetrennten Teilbereichen (5) der Probengefäße (6) wird

- 17 -

die wässrige Phase des Makromoleküls (vierte Phase, 8) gegeben. Die Entwicklung von Kristallen wird mit einer Vorrichtung (9), z.B. einem Mikroskop, dass unterhalb des Probenträgers angeordnet ist, verfolgt. In Abweichung zur schematischen Darstellung ist die vierte Phase in der Regel als
5 Tropfen kugelförmig (statt ellipsenförmig) ausgebildet und berührt nicht seitlich die Gefäßwände.

Figur 13 zeigt eine Probenposition eines erfindungsgemäßen Probenträgers. Je Probenposition können bis zu vier Kristallisationsexperimente realisiert werden. Im Zentrum der Probenposition befindet sich die Ausgrenzung für eine
10 Reservoirlösung. Durch die zentrale Lage sowie die Größe des Reservoirs kann dieses leicht zum Anmischen der komplexen Ausfällungsreagenzien verwendet werden. Die vier Ausgrenzungen für die vierten Phasen sind mit der Reservoirzone über eine Vertiefung im Korpus des Probenträgers verbunden. Der Boden des Probenträgers besteht aus Kunststoff oder Glas. Im Falle von
15 Kunststoff kann der Korpus des Probenträgers durch Bohrungen realisiert werden. Die Verbindung zwischen der zentralen Position für die Ausfällungsreagenz und den Ausgrenzungen kann durch Ausfräsen eines Steges zwischen den Positionen realisiert werden. Die Dimensionen sind in Millimeter angegeben und dienen lediglich als Beispielwerte.
20 Figur 14 zeigt schematisch eine Seitenansicht eines diagonalen Schittes durch eine Probenposition des erfindungsgemäßen Probenträgers gemäß Figur 13. Die Seitenwände der Teilbereiche bilden in den Figuren 11 und 12 einen Ring, so dass die Teilbereiche kreisförmig in der Mitte der Probengefäße liegen. In den äußeren Teil der Probengefäße wird die untere Phase gegeben bis zu einer
25 Höhe, die unterhalb der Höhe der Seitenwände des Teilbereichs liegt, gefolgt von einem Tropfen in den/die Teilbereiche. In die Teilbereiche wird vor oder nach Aufbau des Dreiphasensystems die wässrige Lösung des Makromoleküls (die vierte Phase) gegeben. Die mittlere Phase wird so appliziert, dass die Teilbereiche mit der mittleren Phase gefüllt werden und die ringförmige
30 Seitenwand der Teilbereiche mit der mittleren Phase überschichtet ist.

- 18 -

Wassermoleküle können so von der vierten Phase durch die mittlere Phase in die untere Phase des Dreiphasensystems diffundieren.

In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Oberkanten der Seitenwände der Teilbereiche mit einer nach innen abfallenden Schräge ausgestaltet, so
5 dass bei Applikation der vierten Phase diese in den Teilbereich gelenkt wird.

In einer weiteren Ausführungsform unterscheiden sich die Seitenwände der Ausbuchtungen oder Ausgrenzungen durch verschiedene Höhen.

In einer weiteren Ausführungsform (Figuren 13 und 14) liegen die Teilbereiche für die Proteinlösung um ein zentral gelegenes Reservoir für die untere Phase.

10 Der Aufbau ermöglicht insbesondere in einem ersten Arbeitsschritt ein vereinfachtes Anmischen der Flüssigkeit für die untere Phase. Der Aufbau des Dreiphasensystems erfolgt dann wie beschrieben.

In einer weiteren Ausführungsform liegt der Boden (1) der Teilbereiche (5) auf derselben Höhe wie der Boden der Probengefäße (6). In einer weiteren
15 Ausführungsform ist der Teilbereich gegenüber dem Boden des Probengefäßes erhöht. Der erhöhte Bereich liegt unterhalb der Öffnung des Probengefäßes. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weisen die Probengefäße jeweils mindestens eine erhöhte Ausbuchtung auf. Diese Ausführungsformen der Erfindung werden durch Figur 10 verdeutlicht. Dort ist ein Teil eines vertikalen
20 Schnitts durch einen erfindungsgemäßen Probenträger (1) mit Probengefäßen (16) gezeigt. Bei der gezeigten Ausführungsform sind in den einzelnen Probegefäß (16), von denen drei in einer Reihe dargestellt sind, gegenüber dem Gefäßboden erhöhte Ausbuchtungen (15) vorhanden, in die oder über die die Lösung des Makromoleküls appliziert wird. Der Probenträger ist durch
25 einen erhöhten Rand (2) gekennzeichnet, der es ermöglicht, die einzelnen Probengefäße mit der mittleren Phase zu füllen und die mittleren Phasen mit einer durchgängigen oberen Phase zu überschichten. Dadurch wird der Vorgang der Bereitstellung eines erfindungsgemäßen Dreiphasensystems beträchtlich vereinfacht. Die Ausbuchtung (15) ist ein abgetrennter Teilbereich
30 (15), der durch die seitlichen Wände (13) vom übrigen Probengefäß abgetrennt ist. Die seitlichen Wände (13) des Teilbereichs sind nach oben hin

niedriger als die seitlichen Wände (14) der Probengefäße. Die Ausbuchtung ist auf einem Sockel (17) positioniert. Die Abmessungen und Relationen sind schematisch dargestellt. Für ein spezielles verwendetes Robotersystem wird ein Probenträger mit geeigneten Abmessungen ausgewählt.

- 5 In einer weiteren Ausführungsform ist der Teilbereich gegenüber dem Boden des Probengefäßes erhöht und der übrige Teil des Probengefäße, nicht aber der Teilbereich, unten teilweise oder vollständig offen, so dass alle unteren Phasen miteinander verbunden sind. Es muss dann nur ein einziges Mal eine untere Phase, eine mittlere Phase und eine obere Phase appliziert werden.
- 10 Diese Ausführungsform findet Verwendung, wenn unterschiedliche Lösungen des Makromoleküls gegenüber einer einzigen definierten unteren Phase untersucht werden sollen. Diese Ausführungsform ist auch realisierbar, wenn in einem erfindungsgemäßen Probenträger mit erhöhtem Rand Probengefäß auf einer definierten Höhe unterhalb des erhöhten Randes positioniert werden,
- 15 daß sie nur miteinander verbunden sind, sofern es die Stabilität des Probenträgers erfordert, z. B. durch ein Gitter. In diesen Probenträgern wird dann neben eines Tropfens der unteren Phase ein Tropfen der jeweilig zu testenden wässrigen Lösung (vierte Phase) appliziert.

Vorzugsweise ist der Boden des Probenträgers optisch homogen. Bevorzugt ist
20 ein Glasboden.

So können neben mikroskopischen Aufnahmen auch weitere optische Messverfahren für die Charakterisierung der Lösungsparameter und/oder der biologischen Makromoleküle herangezogen werden, wie z.B. verschiedene Streulichtverfahren (z.B. elastische, quasielastische und/oder inelastische
25 Lichtstreuung) zwecks Bestimmung von Konzentrationen, Größen, Größenverteilungen aber auch thermodynamische Parameter wie der zweiten Virialkoeffizienten und/oder hydrodynamische Parameter. Des Weiteren können spektroskopische Methoden wie der Fluoreszenzanisotropie/
Fluoreszenzdepolarisation unter Inanspruchnahme intrinsischer oder
30 extrinsicher Fluorophore und/oder weiterer polarisationsspektroskopischer Verfahren zur Verfügung (Winter, R. und Noll, F.; Methoden der

- 20 -

biophysikalischen Chemie, Teubner Studienbücher Chemie, Teubner Verlag, ISBN:3-519-03518-9). Dafür besitzen Tropfen, welche in dem hier vorgestellten Verfahren realisiert werden die positive Eigenschaft, dass sie mit einem Volumen von 1 µl in der Aufsicht annähernd den gleichen Durchmesser 5 besitzen wie 200 nl große Tropfen in klassischen sitting-drop Experimenten. Die Tropfen des hier dargestellten Verfahrens besitzen somit, bedingt durch ihre kugelähnliche Topographie bessere Voraussetzungen für die Anwendung der oben erwähnten Verfahren, insbesondere unter Inanspruchnahme konfokaler Messgeometrien. Des weiteren bietet der Glasboden und die optisch 10 homogene mittlere und obere Phase im Gegensatz zu Folienverschlossenen Systemen bessere Voraussetzungen für die Anwendung oben genannter Verfahren. Auf die Verwendung eines optisch homogenen Deckels kann verzichtet werden. Der Brechungsindex vieler hier verwendeter Flüssigkeiten 15 der mittleren Phase liegt des weiteren im Bereich zwischen 1,4 und 1,5, was des weiteren einer Anwendung oben genannter Verfahren entgegenkommt.

Des weiteren können die erhaltenen Bildaufnahmen und sonstige Parameter in eine Datenbank abgelegt werden, um anschließend eine Analyse der Kristallisationsexperimente am Computer zu ermöglichen und/oder um bekannte Bildanalyseverfahren, wie z.B. eine Differential-Bildanalyse und/oder 20 eine Kantendetektion anzuwenden. Auch bekannte Verfahren zur Bewertung von Niederschlagsmorphologien können eingesetzt werden sowie angepasste NMR und Ultraschall basierte Verfahren. Die Auswertung der verschiedenen Parameter der realisierten Kristallisationsexperimente lassen dann nach einer statistischen Auswertung eine systematisierte Ableitung neuer verbesserter 25 Kristallisationsbedingungen zu. Des weiteren können mit Hilfe des Mikroskops Bildaufnahmen und sonstige Parameter in eine Datenbank abgelegt werden, um anschließend eine Analyse der Kristallisationsexperimente am Computer zu ermöglichen und/oder um bekannte Bildanalyseverfahren, wie z.B. eine Differential-Bildanalyse und/oder eine Kantendetektion anzuwenden.

30 Gegenstand der Erfindung ist auch eine Vorrichtung (1) zur Kristallisation von Makromolekülen, bei denen eine Vielzahl von Probengefäßen (6) zu einem Probenträger angeordnet sind, bei der in jedem Probengefäß (6) mindestens

ein Teilbereich (5) vorhanden ist, der vom übrigen Probengefäß durch seitliche Wände (3) abgetrennt ist, wobei die seitlichen Wände (3) nach oben hin niedriger sind als die Wände des Probengefässes (4), dadurch gekennzeichnet, dass der Boden des Probenträgers optisch homogen ist und das der Boden (1) 5 der Teilbereiche (5) auf derselben Höhe liegt wie der Boden der Probengefäße (6). Bedingt durch die Topographie des Probenträgers kann bei dieser Ausführungsform auf einen die Vorrichtung umfassenden erhöhten Rand verzichtet werden. Der Probenträger ist auf einfache Art herstellbar und eignet sich des auch zur Durchführung klassischer Kristallisationsexperimente und 10 stellt im Gegensatz zu bestehenden Probenträgern eine kostengünstige Variante mit einem optisch homogenen Boden dar. Der optisch homogene Boden bietet gegenüber den klassischen Hochdurchsatz-Probenträgern, die für Vapour-Diffusion Experimente verwendet werden den Vorteil, dass die Detektion der Kristalle durch die Abwesenheit von Doppelbrechungseffekten 15 der Polymere eine Detektion von Kristallen nicht-kubischer Symmetrie unter Inanspruchnahme polarisierten Lichtes stark vereinfacht.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung eignet sich insbesondere für die Automatisierung unter Verwendung von Robotern. Es kann eine beliebige Anzahl von Probengefäßen auf einem Probenträger angeordnet werden (in 20 Figur 9 sind 96 Proben angeordnet). Figur 9 zeigt die Aufsicht eines erfindungsgemäßen Probenträgers (1) zur automatisierten Durchführung des Kristallisierungsverfahrens mit einem erhöhtem Rand (2), Probengefäßen (16) und Anschnitten zwischen den Probengefäßen (14).

Der Probenträger ist gekennzeichnet durch einen erhöhten Rand. Dadurch wird 25 die robotergestützte Durchführung des Verfahrens stark vereinfacht: Es wird in jedes Probengefäß die untere wässrige Phase gegeben. Danach wird diese mit der mittleren Phase überschichtet, die vorzugsweise alle Probengefäße über die Höhe der Ausbuchtung hinaus, jedoch unter den Rand der einzelnen Probengefäße auffüllt. Danach erfolgt die Überschichtung des gesamten 30 Systems mit der oberen Phase. Dadurch werden störende Miniskuseffekte an der Oberfläche unterbunden. Vorzugsweise ist die erfindungsgemäße Vorrichtung so ausgebildet, dass sie von gängigen Roboterformaten genutzt

- 22 -

werden kann. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn der Probenträger im Standard-96-Well Format 8 mal 12 Probengefäße aufweist, die jeweils 9 mm voneinander entfernt sind. Standards wie die der Society of Biomolecular Sciences (SBS; www.sbsonline.org) sind dem Fachmann bekannt.

5 Der Rand des Probenträgers ist ausreichend hoch, um die obere Phase aufzunehmen. Vorzugsweise ist der Anteil des erhöhten Randes an der Gesamthöhe des Probenträgers 2-50%, bevorzugt 5 bis 30%, besonders bevorzugt 10 bis 20%.

Bei der Automatisierung des Verfahrens können die einzelnen Probengefäße
10 durch seitliche Wände abgetrennt Teilbereiche (Ausbuchtungen gemäß Figur
10 oder Ausgrenzungen gemäß Figuren 12 und 13) aufweisen. In einem
Probengefäß können eine oder mehrere solche Teilbereiche vorhanden sein,
z.B. drei Ausbuchtungen wie in Figur 7. Es können auch eine Vielzahl von
Ausbuchtungen und/oder Ausgrenzungen neben einem Reservoir angeordnet
15 sein.

Durch diese erfindungsgemäßen Ausführungsformen lassen sich eine Vielzahl
von Arbeitsschritten einsparen, was die Verwendung als automatisierten
Prozess stark erleichtert. Das Verfahren ist ähnlich einfach automatisiert
durchführbar wie Batchverfahren nach dem Stand der Technik, ermöglicht
20 jedoch eine dynamische Einstellung eines Endpunktes und eines metastabilen
Zustandes. Des Weiteren können zeitlich versetzte Testverfahren an mehreren
Proteinen realisiert werden, wobei das Protein einer Ausbuchtung zugegeben
wird, in die bereits vorher die wässrige Lösung (vierte Phase) vorgelegt wurde.
Dies ermöglicht einen verringerten Verbrauch von Chemikalien und
25 Probenträgern.

Bevor ein erfindungsgemäßes Dreiphasensystem etabliert wird, ist es nötig,
die mittlere und die obere Phase so auszuwählen, dass saubere Phasengrenzen
erhalten werden und dass die Reihenfolge der Phasen (unten/Mitte/oben) sich
wie gewünscht, unter anderem durch Adhäsions- und Kohäsionskräfte,
30 einstellt.

Die obere Phase muss eine geringere Dichte als die Lösung des Makromoleküls aufweisen und muss gegenüber H₂O diffusionshemmende Eigenschaften besitzen. Geeignet ist insbesondere Paraffinöl.

Zum Testen der mittleren Phase werden die einzelnen Flüssigkeiten für die 5 mittlere Phase jeweils mit einer identischen Menge der oberen Phase überschichtet und anschließend bei Raumtemperatur inkubiert. Geeignete Flüssigkeiten bilden eine über einen längeren Zeitraum stabile Phasengrenze aus.

Um die Dampfdurchlässigkeit der mittleren Phase zu testen, wird die bekannte 10 Kristallisation eines Makromoleküls in einem offenen System mit unterer wässriger Lösung des Makromoleküls und überschichteter mittlerer Phase untersucht (ohne obere Phase). Die verdünnte Lösung des Makromoleküls wird gefiltert, in ein Kristallisierungsgefäß gegeben und mit der zu testenden mittleren Phase überdeckt. Anschließend wird der Ansatz über einen Zeitraum 15 von mehreren Stunden bis mehreren Tagen beobachtet. Falls die mittlere Phase Wassermoleküle aus der Lösung des Makromoleküls ausdiffundieren lässt, entstehen je nach Diffusionsoffenheit und Schichtdicke Kristalle. Wenn die mittlere Phase die Diffusion von Wasser nicht zulässt und daher erfindungsgemäß nicht geeignet ist, bilden sich nach mehreren Tagen keine 20 Kristalle.

Da die Lösung des Makromoleküls meist auf einer Elektrolytlösung basiert, muß außerdem das Verhalten der mittleren Phase in Bezug zur wässrigen Phase bewertet und sichergestellt werden, dass sich die für die mittlere Phase verwendete Flüssigkeit im wesentlichen nicht mit der wässrigen Phase 25 vermischt und mit dieser kompatibel ist.

Um den Einfluss einer diffusionsoffenen mittleren Phase auf die diffusionshemmenden Eigenschaften der oberen Phase zu testen, wird zusätzlich mit einer Schicht von Paraffinöl beschichtet, die mindestens so dick sein sollte wie die Schicht der mittleren Phase. Wenn die mittlere Phase die 30 diffusionshemmenden Eigenschaften der oberen Phase nicht substantiell

- 24 -

beeinflusst, ist keine oder zumindest eine erheblich verzögerte Bildung von Proteinkristallen zu beobachten.

Ausführungsbeispiele:

5 Beispiel 1: Test der Löslichkeit der mittleren Phase in der oberen Phase

Es wird Paraffinöl (Paraffin dünnflüssig, Merck; Bestellnummer: 1.07174.1000) als obere Phase verwendet und nach einer kompatiblen mittleren Phase gesucht. Anstelle des Paraffinöls können andere Flüssigkeiten verwendet werden, die eine diffusionshemmende Eigenschaft und eine entsprechende 10 Dichte aufweisen.

Tabelle 1 enthält exemplarisch eine Auflistung der getesteten Flüssigkeiten, die verschiedene Polysiloxane, Zufalls-Copolymere und ein Block-Copolymer umfasst.

Tabelle 1:

I	Poly(dimethylsiloxan-Co-Methylphenylsiloxan), Trimethylsilyl-terminiert; Phenylmethyldimethoxane-Anteil: ~50% ; Viskosität bei 25°C: 100 mm ² /s (Siliconöl AP100, Wacker-Chemie GmbH)
II	Poly(dimethylsiloxan-Co-Methylphenylsiloxan), Trimethylsilyl-terminiert; Phenylmethyldimethoxane-Anteil: ~50 % ; Viskosität bei 25°C: 200 mm ² /s (Siliconöl AP200, Wacker-Chemie GmbH)
III	Poly(dimethylsiloxan-Co-Methylphenylsiloxan), Trimethylsilyl-terminiert; Phenylmethyldimethoxane-Anteil: ~50 % ; Viskosität bei 25°C: 500 mm ² /s (Siliconöl AP500, Wacker-Chemie GmbH)
IV	Poly(dimethylsiloxan-Co-Methylphenylsiloxan), Trimethylsilyl-terminiert; Phenylmethyldimethoxane-Anteil: <50 % ; Viskosität bei 25°C: 20 mm ² /s (Siliconöl AR20, Wacker-Chemie GmbH)
V	Poly(dimethylsiloxan-Co-Methylphenylsiloxan), Trimethylsilyl-terminiert;

	Phenylmethylsiloxan-Anteil: <50 % ; Viskosität bei 25°C: 200 mm ² /s (Siiliconöl AR200, Wacker-Chemie GmbH)
VI	Poly(dimethylsiloxan-Co-Methylphenylsiloxan), Trimethylsilyl-terminiert; Phenylmethylsiloxan-Anteil: <50 % ; Viskosität bei 25°C: 1000 mm ² /s (Siliconöl AR1000, Wacker-Chemie GmbH)
VII	Poly(dimethylsiloxan), Hydroxy-terminiert, ca. 25 cSt bei 25°C (Sigma-Aldrich, Bestellnummer: 48,193-9)
VIII	Poly(dimethylsiloxan), Hydroxy-terminiert, ca. 65 cSt bei 25°C (Sigma-Aldrich, Bestellnummer: 48,195-5)
IX	Poly(dimethylsiloxan), Hydroxy-terminiert, 90-150 cSt bei 25°C (Sigma-Aldrich, Bestellnummer: 43,297-0)
X	Polydimethylsiloxan, Trimethylsilyl-terminiert Hampton-Research, DMS Oil, Bestellnummer:HR2-593
XI	Poly-3,3,3-Trifluorpropylmethylsiloxan Hampton-Research, FMS Oil, Bestellnummer:HR2-595
XII	((N-Pyrrolidonpropyl)-Methylsiloxan-Dimethylsiloxan-Copolymer (ABCR, Bestellnummer: YBD-125, Gelest Inc.)
XIII	Poly[dimethylsiloxan-Co-Methyl(3-Hydroxypropyl)siloxan]-graft-Poly(ethylenglycol)methylether (Sigma-Aldrich, Bestellnummer: 48,239-0)
XIV	Poly[dimethylsiloxan-Co-Methyl(3-Hydroxypropyl)siloxan]-Graft-Poly(ethylen/propylenglycol)methylether (Sigma-Aldrich, Bestellnummer: 48,034-7)
XV	Poly[dimethylsiloxan-Co-Methyl(3,3,3-Trifluorpropyl)siloxan] (Sigma-Aldrich, Bestellnummer: 48,257-9)

XVI	Dimethylsiloxan – Ethylenoxid Blockcopolymer (ABCR, Bestellnummer: DBE-224, Gelest Inc.)
-----	---

In runden Glasgefäßen mit einem Innendurchmesser von 6,5 mm werden je 500 Mikroliter der zu testenden Flüssigkeit gegeben, mit je 500 Mikroliter Paraffinöl bedeckt und bei Raumtemperatur inkubiert. Alle Flüssigkeiten bilden initial zum Paraffin eine scharfe Phasengrenze. Nach zwei Stunden hat die Phasengrenze für die Flüssigkeiten IV und X bereits an Schärfe verloren, bedingt durch ein ineinanderdiffundieren beider Flüssigkeiten. Nach 24 Stunden ist dies ansatzweise auch für die Flüssigkeit I der Fall. Somit stellen die Flüssigkeiten II, III, V, VI, VII, VIII, IX, XI, XII, XIII, XIV, XV und XVI potenzielle Kandidaten für die mittlere Phase des hier beschriebenen Verfahrens dar. Die Flüssigkeiten IV, X und bedingt I fallen aus dem hier vorgestellten Selektionsverfahren aus. Für die Flüssigkeit X ist dies nicht verwunderlich, da es sich um das in den modifizierten Batchverfahren verwendete Polydimethylsiloxan (DMS) handelt, was dem Paraffinöl beigesetzt wird um dieses diffusionsoffener zu machen. Die Flüssigkeit X wurde exemplarisch berücksichtigt.

Beispiel 2: Test der Diffusionseigenschaften der mittleren Phase

Die zu testenden mittleren Phasen werden mit Wasser abgesättigt. Dazu wird der zu testenden Flüssigkeit 5 % (v/v) Wasser zugegeben, vermischt, zentrifugiert und über mehrere Tage inkubiert. Die Absättigung dient dazu, die Bildung von Proteinkristallen durch Wasserentzug der zu testenden mittleren Phase zu unterbinden. Die Flüssigkeiten XIII, XIV und XVI erwiesen sich als wenig kompatibel mit einer wässrigen Lösung.

Eine Lysozymlösung (25 mg/ml) wird wie folgt hergestellt: 50 mg Lysozym (Lysozyme, Sigma; Bestellnummer: L-7651) werden komplett in 1 ml Wasser aufgelöst, filtriert und mit 1 ml der folgenden Lösung versetzt: 5 % NaCl, 100 mM NaOAc pH 4.0, 0.02 % NaN₃.

- 27 -

In eine 96-well Mikrotiterplatte werden pro Probengefäß 10 Mikroliter der Lysozymlösung deponiert und mit je 80 Mikroliter der in Beispiel 1 genannten Flüssigkeiten Nummer: II, III, V, VI, VII, VIII und IX überdeckt. Parallel dazu wird der gleiche Ansatz erstellt, und weiter mit 100 Mikroliter Paraffinöl 5 überdeckt. Beide Ansätze werden bei 22°C inkubiert und über einen Zeitraum von mehreren Wochen beobachtet. Bei der Wahl der getesteten Flüssigkeiten wurden die kostengünstigen potenziellen Flüssigkeiten ausgewählt.

Die folgende Tabelle gibt die Zeiten in Tagen wieder, nach denen Lysozymkristalle beobachtet werden konnten:

10

Flüssigkeit Nummer	ohne Paraffinöl	mit Paraffinöl
II	~8	~22
III	~8	~22
V	~6	~22
VI	~7	~22
VII	~0,5	~22
VIII	~1	~22
IX	~1	~22

Somit können verschiedene Diffusionseigenschaften der Flüssigkeiten charakterisiert werden und deren Einfluss auf die Diffusionseigenschaften des Paraffinöls ausgeschlossen werden.

15

Beispiel 3: Diffusionseigenschaften der Hydroxy-terminierten Polydimethylsiloxane

Anstelle der in Beispiel 2 genannten Mikrotiterplatten werden Glasgefäße mit einem Innendurchmesser von 6,5 mm verwendet und mit 100 Mikroliter der

aus Beispiel 1 genannten Flüssigkeiten Nummer VII, VIII oder IX befüllt. Parallel dazu wird der gleiche Ansatz erstellt, und weiter mit 100 Mikroliter Paraffinöl überdeckt. Anschließend werden den Glasröhrchen 5 Mikroliter der in Beispiel 2 beschriebenen Lysozymlösung beigefügt. Diese wandert zum 5 Boden des Gefäßes. Innerhalb weniger Stunden wird bei Flüssigkeit VII deren leichte Eintrübung im mit Paraffin überdeckten Ansatz beobachtet. Nach mehreren Stunden ist diese Eintrübung ebenfalls für die mit Paraffinöl überdeckten Flüssigkeiten VIII und IX sichtbar. Diese Trübung bleibt für die nicht mit Paraffinöl überdeckten Ansätze aus. Wird den mit Paraffinöl 10 überdeckten Ansätzen keine wässrige Phase beigefügt, bleibt eine Eintrübung aus. Wird an Stelle der Lysozymlösung reines Wasser verwendet, wird ein ähnliches Verhalten beobachtet. Die gemäß Beispiel 2 durchgeführte Absättigung der Flüssigkeiten ist insbesondere für die Hydroxy-terminierten-Dimethylsiloxane wichtig.

15

Beispiel 4: Kristallisation von Lysozym im Vierphasensystem:

Aufbau des Vierphasensystems: Als untere Phase werden in Glasgefäßen mit 6,5 mm Innendurchmesser je 500 Mikroliter einer Lösung von 5 % NaCl, 100 mM NaOAc pH 4.0, 0.02 % NaN₃ gegeben. Die Lösung bestimmt somit 20 den Endpunkt für die Kristallisation des Lysozyms. Anschließend werden als mittlere Phase 100 Mikroliter der in Beispiel 1 genannten Flüssigkeit Nummer V zugegeben. Überdeckt wird das ganze mit 100 Mikroliter Paraffinöl als obere Phase.

Ein Mikroliter einer Lysozymlösung gemäß Beispiel 2 wird mittels einer Pipette 25 unter die Paraffin/Luft Phasengrenze in das Dreiphasensystem appliziert und wandert bedingt durch den Dichteunterschied bis zur Silikonöl/Paraffinöl Phasengrenze. Anschließend wandert die Proteinlösung langsam zur Phasengrenze untere Phase/Silikonöl und verbleibt dort üblicherweise als stabile vierte Phase in Form eines Tropfens. Der Endpunkt der Konzentration 30 wird durch die Zusammensetzung der unteren Phase bestimmt. Gelegentlich wird auch eine unerwünschte Vereinigung der vierten Phase mit der unteren

Phase beobachtet. Es bilden sich Proteinkristalle (Figur 4). Verwendet man anstelle der Flüssigkeit V die Flüssigkeit VI, so stabilisiert sich der Tropfen in der Regel an der Phasengrenze Paraffinöl/Silikonöl. Dies gilt insbesondere für Tropfen <1 Mikroliter. Es bilden sich ebenfalls Proteinkristalle.

5 Die in diesem Beispiel genannten Flüssigkeiten Nummer V und VI sind Copolymeren. Sie unterscheiden sich in der Viskosität und somit in der Längenverteilung der jeweiligen Polymerketten. Es ist somit ersichtlich, dass die Länge- und Längenverteilung des Phenylmethylsiloxans, sowie das Volumen der Proteinlösung einen nicht unerheblichen Einfluss auf das
10 Verhalten des Systems haben. Diese Parameter können je nach Anwendung eingestellt und optimiert werden. Auch über die Zugabe von Zusatzstoffen (z.B. Stabilisatoren, Block-Copolymeren, insbesondere Di- und/oder Triblock-Copolymeren) kann das System weiter optimiert werden.

Bei Verwendung von Glasmehrarmröhren oder Glaskapillaren kann die
15 Doppelbrechung der Proteinkristalle zur Detektion genutzt werden. Hierzu wird polarisiertes Licht mit einem 90° versetzten Analysator zur Totalextinktion gebracht, wobei Kristalle nicht-kubischer Symmetrie je nach Ausrichtung ein Lichtsignal zeigen (Figur 5). Der Teil des Probengefäßes, durch den der Lichtweg führt, muss dabei optisch homogen sein. Bei der Vorrichtung nach
20 Figur 5 wurde durch die Seitenwände gemessen. Insbesondere bei Probenträgern mit einer Vielzahl von Probengefäßen ist es vorteilhaft, die Messung durch einen optisch homogenen Gefäßboden vorzunehmen. Des weiteren bilden sich bei der Verwendung von Glas an der Phasengrenze unten/Mitte sowie Mitte/oben jeweils ein konkaver Meniskus aus, was zu einer
25 Zentrierung des Tropfens führt (siehe Figur 4). Dies ist für die Analyse der Kristallisationsexperimente von Vorteil. Die Oberflächeneigenschaften des Gefäßes können auf diese Art so ausgewählt werden, das sie das Verfahren vorteilhaft beeinflussen.

30 Beispiel 5: Kristallisation im Vierphasensystem mit räumlicher Abtrennung der Proteinlösung von der unteren Phase

Ein Dreiphasensystem wird in einer 96-well Kristallisierungsplatte (Greiner Bio-one, Protein Kristallisierungsplatte, 96 well; Bestellnummer 609120) wie oben beschrieben etabliert. Dabei ist es wichtig, dass die untere Phase nicht über die Ausbuchtung hinausragt (siehe Figur 6). Die mittlere Phase wird dann 5 appliziert, bis der gesamte Querschnitt einer Probenposition bedeckt ist. Anschließend wird mit Paraffinöl überdeckt (obere Phase, siehe Figur 6). Die mittlere Phase kann auch nach der oberen Phase appliziert werden.

Als Richtwerte gelten folgende Volumina: 300 Mikroliter Ausfällungsreagenz (siehe untere Phase Beispiel 4), 90 Mikroliter der mittleren Phase, 120 10 Mikroliter Paraffinöl und 2 Mikroliter Proteinlösung.

Die Ansprüche an die mittlere Phase sind bezüglich der Stabilisierung des Proteintropfens weniger stringent als bei Beispiel 4. Zwei Mikroliter einer in Beispiel 2 beschriebenen Lysozymlösung wir so appliziert, dass sie in die Ausbuchtung des Gefäßes positioniert ist oder dorthin wandert. Sie bildet einen 15 Tropfen aus, der von der mittleren Phase und der Gefäßwand umgeben ist. Die Figur 7 zeigt ein Kristallisationsexperiment bei dem die Flüssigkeit IX als mittlere Phase verwendet wurde. Proteinkristalle bilden sich im Falle der Flüssigkeit IX nach zwei Tagen. Bei Verwendung der Hydroxy-terminierten-Polysiloxane (Flüssigkeiten VII, VIII und IX) kann des öfteren ein Aufreißen 20 der oberen Paraffinschicht beobachtet werden, insbesondere wenn geringere Volumina des Paraffinöl verwendet werden. Die hier verwendete Kristallisierungsplatte lässt jedoch keine Applikation von größeren Mengen Paraffinöl zu. Dagegen erlaubt die Verwendung eines Probenträgers mit einem erhöhten Rand die Applikation einer ausreichenden Schicht Paraffinöls über 25 den gesamten Probenträger.

Beispiel 6: Vergleichende Kristallisation von weiteren Enzymen – Glucose Isomerase und Xylanase

Das Verfahren wurde mittels zwei kommerziell erhältlicher Enzyme realisiert, 30 namentlich der Glucose Isomerase (Hampton-Research, Glucose Isomerase,

Bestellnummer:HR7-100) und der Xylanase (Hampton-Research, Xylanase, Bestellnummer:HR7-106). Beide Proteine wurden bei einer Konzentration von 15 mg/ml, sowie mittels eines etablierten und kommerziell erhältlichen Kits von Ausfällungsreagenzien (Hampton-Research, crystal screen, HR2-110) 5 (nach Jancarik, J. und Kim, S.H.; Sparse matrix sampling: a screening method for crystallization of proteins; J. Appl. Cryst. 1991, 24, 409-11) getestet. Die Ausfällungsreagenzien wurden sowohl unverdünnt als auch in 50%iger Verdünnung verwendet. Die Proteinlösung wurde filtriert.

Ein Dreiphasensystem wird in einer mit erhöhtem Rand ausgestatteten 96-well 10 Kristallisierungsplatte realisiert (Greiner Bio-one, Protein Kristallisierungsplatte, 96 well; Bestellnummer 609120). Der Rand wurde mittels Ankleben eines Plastikstreifens von ~2cm erzeugt und mit Heißkleber abgedichtet. Das Dreiphasensystem wird aufgebaut, indem zuerst Paraffinöl über die 15 Gesamtheit der Próbenträger hinweg appliziert wird und anschließend die verschiedenen Ausfällungsreagenzien einzeln in je ein Reservoir gegeben werden. Anschließend wird ein Tropfen der Ausfällungsreagenz von 1,5 µl Volumen in jedes der drei Ausbuchtungen aus dem Reservoir heraus pipettiert. Anschließend wird die Phase II appliziert, indem soviel der Flüssigkeit VIII aus Beispiel 1 zugegeben wird, bis der gesamte Querschnitt einer jeden 20 Probenposition bedeckt ist, jedoch nicht über den Rand der Probenposition hinaus. Die Platte wird anschließend zwei Stunden inkubiert. Anschließend wird jeder Ausbuchtung 1,5 µl der wässrigen Proteinlösung zugegeben. Parallel zu diesem Experiment wird ein klassisches Hanging-Drop Experiment angesetzt. Nach 18 Stunden wurden Bilder der Ansätze aufgenommen. Figur 8 zeigt 25 einen Vergleich zwischen der Methode des Dreiphasensystems und dem Hängenden Tropfen. In mehr als 50 % der Fällen zeigte die Methode der 3 Phasen eindeutig besser ausgebildete Kristalle. Des weiteren konnte gezeigt werden, dass der Aufbau des Dreiphasensystems unter Verwendung der Flüssigkeit VIII aus Beispiel 1 mit allen 50 Lösungen des Screens kompatibel 30 ist. Die Ausfällungsreagenzien bestehen aus einer Auswahl typischerweise in der Proteinkristallisation verwendeter Substanzen und beinhalten ebenfalls organische Lösungsmittel.

Figur 8 zeigt exemplarisch anhand von drei Konditionen einen Vergleich der in Beispiel 6 generierten Resultate zwischen dem neuen Verfahren (linke Spalte) und dem klassischen Hängenden-Tropfen (rechte Spalte). Die erste und zweite Reihe gibt Resultate der Glucose Isomerase und die letzte Reihe ein Resultat der Xylanase. Die hier gezeigten Beispiele zeigen das im Rahmen des neuen Verfahrens oft bessere Resultate erhalten werden als mit klassischen Verfahren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kristallisation von Makromolekülen in einem Dreiphasensystem unter Verwendung eines Gefäßes, enthaltend eine untere wässrige Phase, eine mittlere Phase und eine obere hydrophobe Phase mit geringerer Dichte als die untere wässrige Phase, wobei eine wässrige Lösung der Makromoleküle in die mittlere Phase gegeben wird und eine vierte Phase bildet und inkubiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die wässrige Lösung der Makromoleküle eine vierte Phase bildet, die sich nicht unmittelbar mit der unteren Phase vermischt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und/oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die untere Phase eine hygrokopische Festphase ist.
4. Verfahren nach Anspruch 1 und/oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die untere Phase eine hygrokopische Flüssigphase ist.
5. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die vierte Phase nach Einbringen in das Gefäß zur Phasengrenze zwischen der unteren und mittleren Phase oder zur Phasengrenze zwischen der mittleren und oberen Phase wandert.
6. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 2, 3, 4 oder 5; dadurch gekennzeichnet, dass das Gefäß so ausgestaltet ist, dass die vierte Phase nicht in Kontakt mit der unteren Phase kommt.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die vierte Phase in einer Ausbuchtung und/oder Ausgrenzung lokalisiert ist.
8. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass sich die vierte Phase solange nicht vollständig mit der unteren Phase vermischt, bis die Kristallisation in der vierten Phase oder an einer Phasengrenze zur vierten Phase einsetzt.

9. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass durch die obere Phase über die Dauer des Kristallisationsvorgangs im wesentlichen keine Diffusion von Wasser aus dem Gefäß stattfindet.
- 5 10. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die obere Phase Paraffinöl enthält.
11. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 2 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Phase so ausgewählt ist, dass eine Diffusion von Wasser von der vierten Phase in die untere Phase 10 stattfindet.
12. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Phase Hydroxy-terminiertes Polydimethylsiloxan und/oder Phenylmethyl-Siliconöl enthält.
13. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch 15 gekennzeichnet, dass die untere wässrige Phase Salze, Puffersubstanzen, Polymere und/oder organische Lösungsmittel enthält.
14. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Lösung des Makromoleküls Salze, Puffersubstanzen, Polymere und/oder organische Lösungsmittel enthält.
- 20 15. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Makromoleküle Proteine, DNA, RNA, Komplexe von Makromolekülen, Proteinkomplexe, Protein/Ligandenkomplexe, DNA/Ligandenkomplexe, Protein/RNA-Komplexe, Protein/DNA-Komplexe, Viren oder Virenfragmente sind.
- 25 16. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Kristallisation durch optische Messverfahren, insbesondere mikroskopische Aufnahmen, Streulichtverfahren oder spektroskopische Methoden analysiert und/oder kontinuierlich verfolgt wird.

17. Kristalle von Makromolekülen, die durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16 erhalten werden.
18. Vorrichtung zur Kristallisation von Makromolekülen, bei der eine Vielzahl von Probengefäßen (6, 16) zu einem Probenträger angeordnet sind, wobei der Probenträger einen durchgängigen Rand (2) aufweist, der höher angeordnet ist als die Öffnungen der Probengefäße und bei der in jedem Probengefäß (6, 16) mindestens ein Teilbereich (5, 15) vorhanden ist, der von dem übrigen Probengefäß durch seitliche Wände (3, 13) abgetrennt ist, wobei die seitlichen Wände (3, 13) nach oben hin niedriger sind als die seitlichen Wände des Probengefäßes (4, 14).
10
19. Vorrichtung nach Anspruch 18, wobei der Boden (1) der Teilbereich (5) auf derselben Höhe liegt wie der Boden der Probengefäße (6).
20. Vorrichtung nach Anspruch 18 und/oder 19, wobei der Boden des Probenträgers optisch homogen ist.
- 15 21. Vorrichtung zur Kristallisation von Makromolekülen, bei der eine Vielzahl von Probengefäßen (6) zu einem Probenträger angeordnet sind, bei der in jedem Probengefäß (6) mindestens ein Teilbereich (5) vorhanden ist, der vom übrigen Probengefäß durch seitliche Wände (3) abgetrennt ist, wobei die seitlichen Wände (3) nach oben hin niedriger sind als die seitlichen Wände des Probengefäßes (4), dadurch gekennzeichnet, dass der Boden des Probenträgers optisch homogen ist und das der Boden (1) der Teilbereiche (5) auf derselben Höhe liegt wie der Boden der Probengefäße (6), wobei der Probenträger einen durchgängigen Rand (2) aufweist, der höher angeordnet ist als die Öffnungen der Probengefäße.
20
22. Vorrichtung zur Kristallisation von Makromolekülen, bei der eine Vielzahl von Probengefäßen (6) zu einem Probenträger angeordnet sind, bei der in jedem Probengefäß (6) mindestens zwei Teilbereiche (5) vorhanden sind, die vom übrigen Probengefäß durch seitliche Wände (3) abgetrennt sind, wobei die seitlichen Wände (3) nach oben hin niedriger sind als die

- 36 -

seitlichen Wände des Probengefäßes (4), wobei die seitliche Wand oder Wände mindestens eines Teilbereiches eine verschiedene Höhe aufweist.

23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Boden des Probenträgers optisch homogen ist und das der Boden (1) der Teilbereiche (5) auf derselben Höhe liegt wie der Boden der Probengefäße (6).

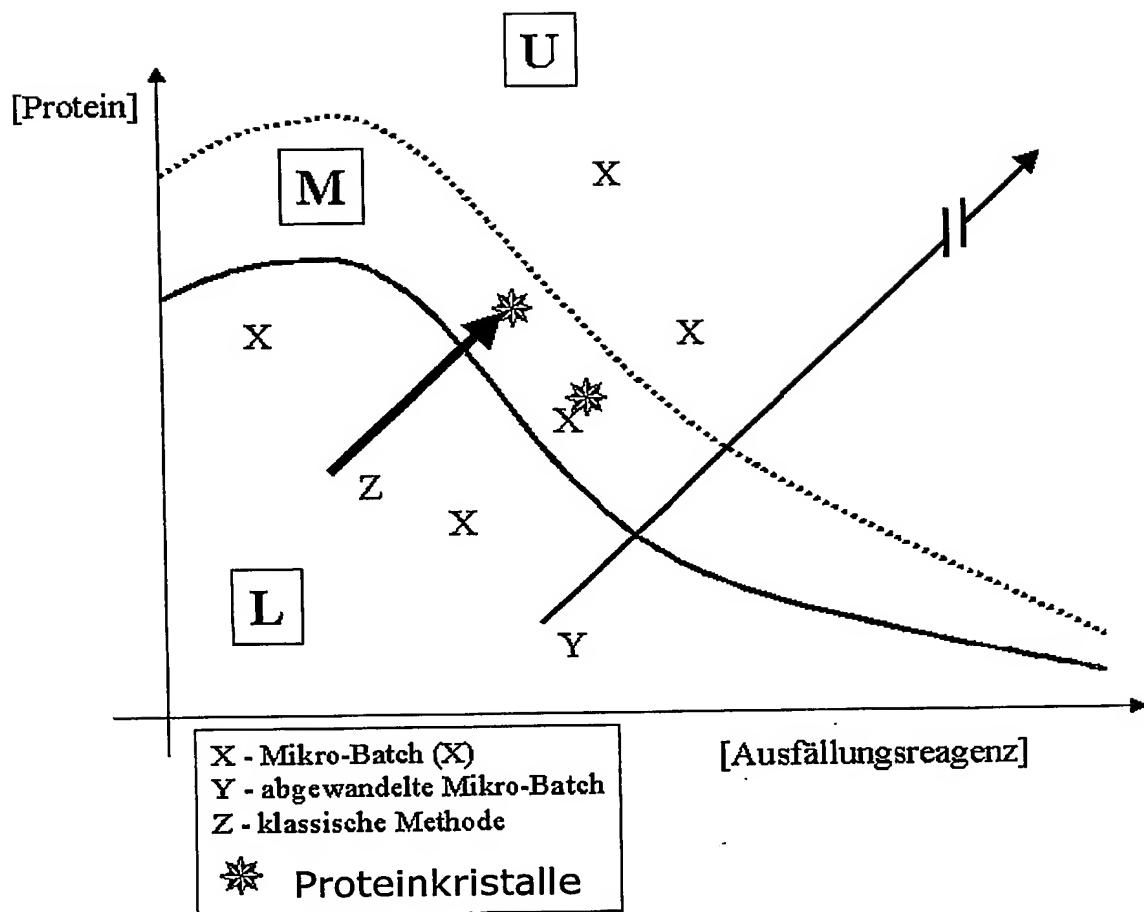
24. Dreiphasensystem zur Kristallisation von Makromolekülen, bei dem in einem Gefäß drei flüssige Phasen übereinander vorliegen, wobei diese eine untere wässrige Phase, eine mittlere Phase und eine obere hydrophobe Phase mit geringerer Dichte als die untere wässrige Phase sind.

10 25. Dreiphasensystem nach Anspruch 24, wobei die untere Phase eine hygrokopische Phase fester und/oder flüssiger Natur ist.

15 26. Verwendung eines Verfahrens nach Anspruch 1 bis 16, der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 23 und/oder eines Dreiphasensystems nach Anspruch 24 bis 25 zur Kristallisation von Makromolekülen, zur automatisierten Kristallisation oder zum automatisierten Screening.

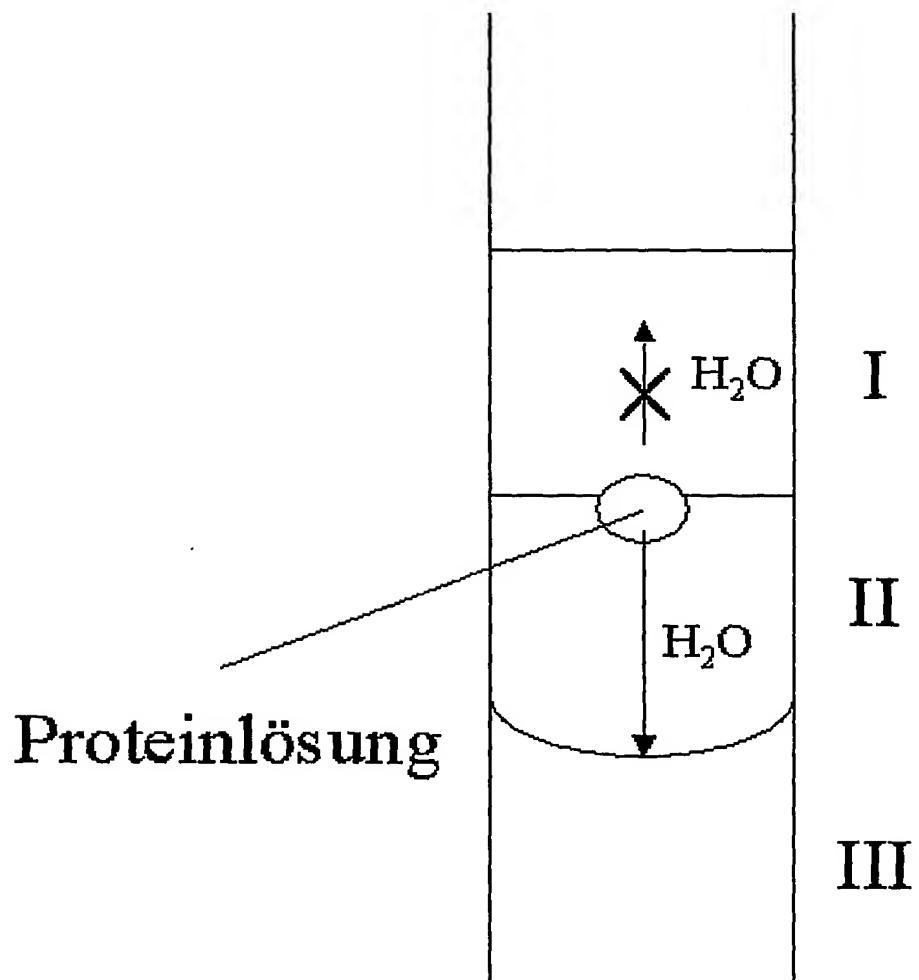
27. Strukturen von Makromolekülen, die bei der Analyse von Kristallen gemäß Anspruch 17 ermittelt werden:

- 1/12 -



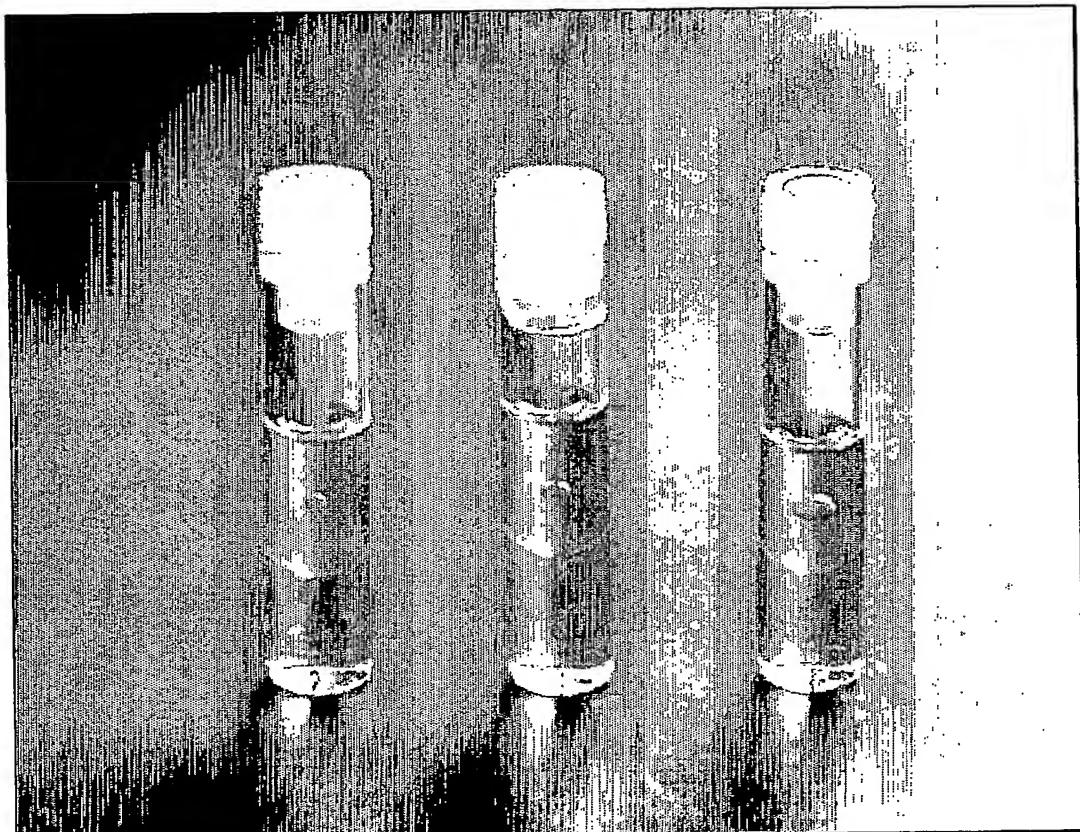
Figur 1

- 2/12 -



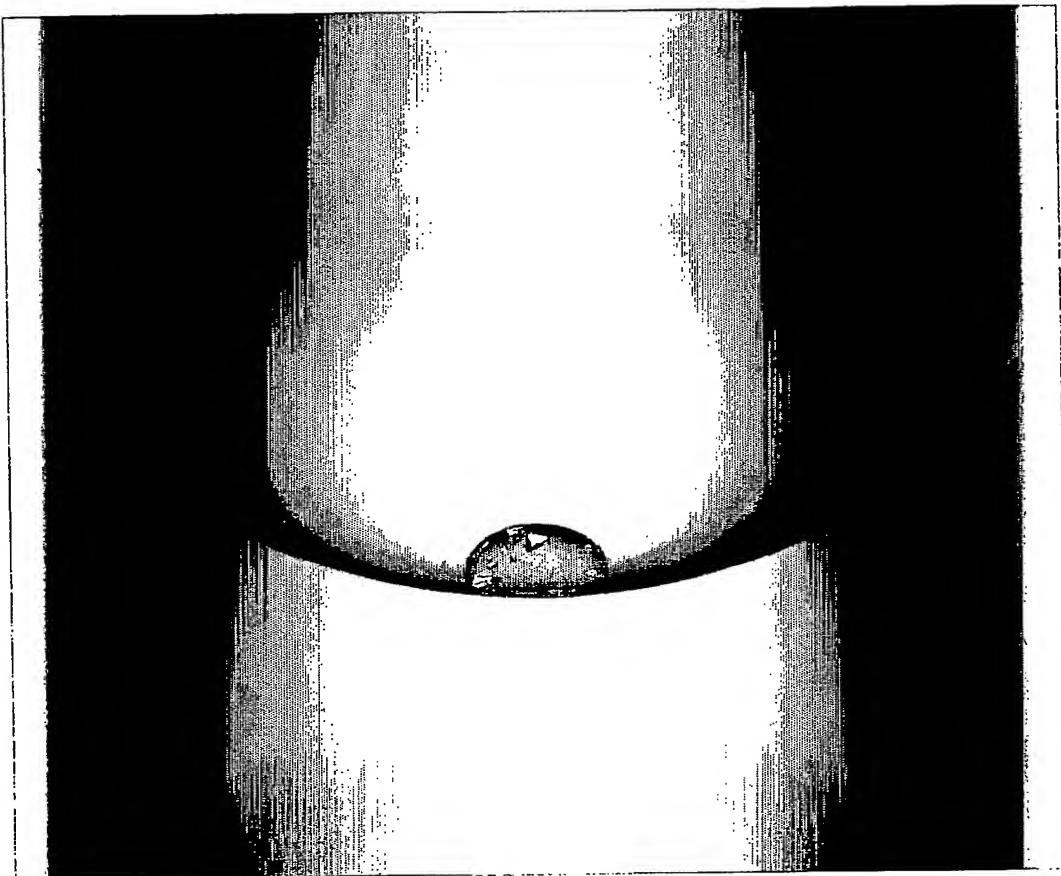
Figur 2

- 3/12-



Figur 3

- 4/12 -



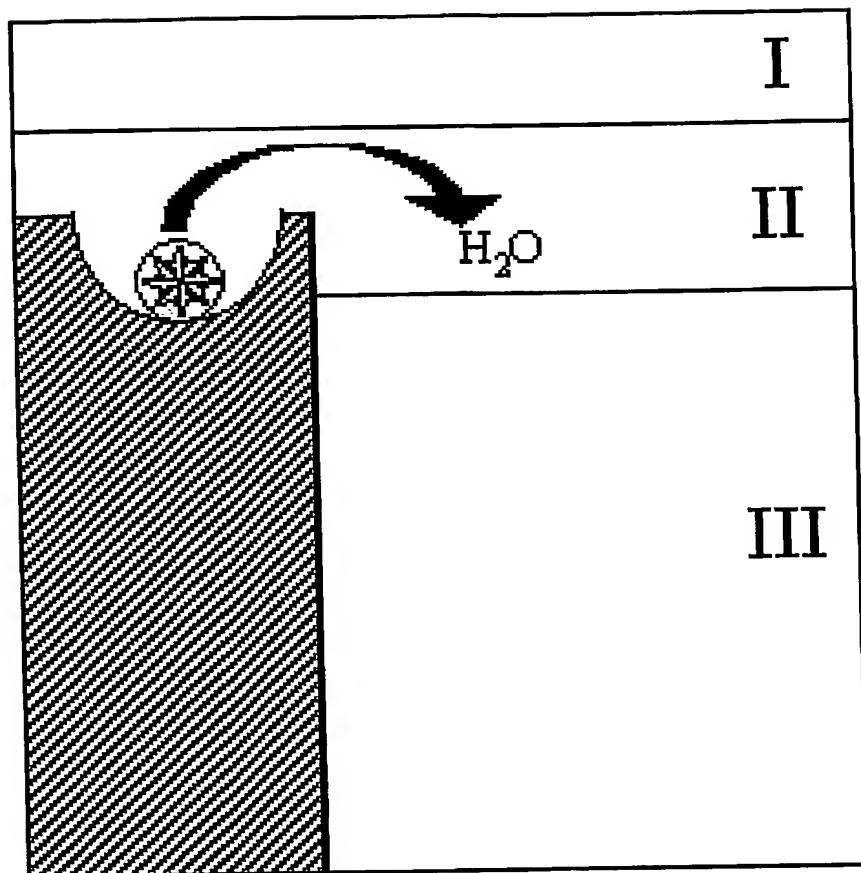
Figur 4

- 5/12 -



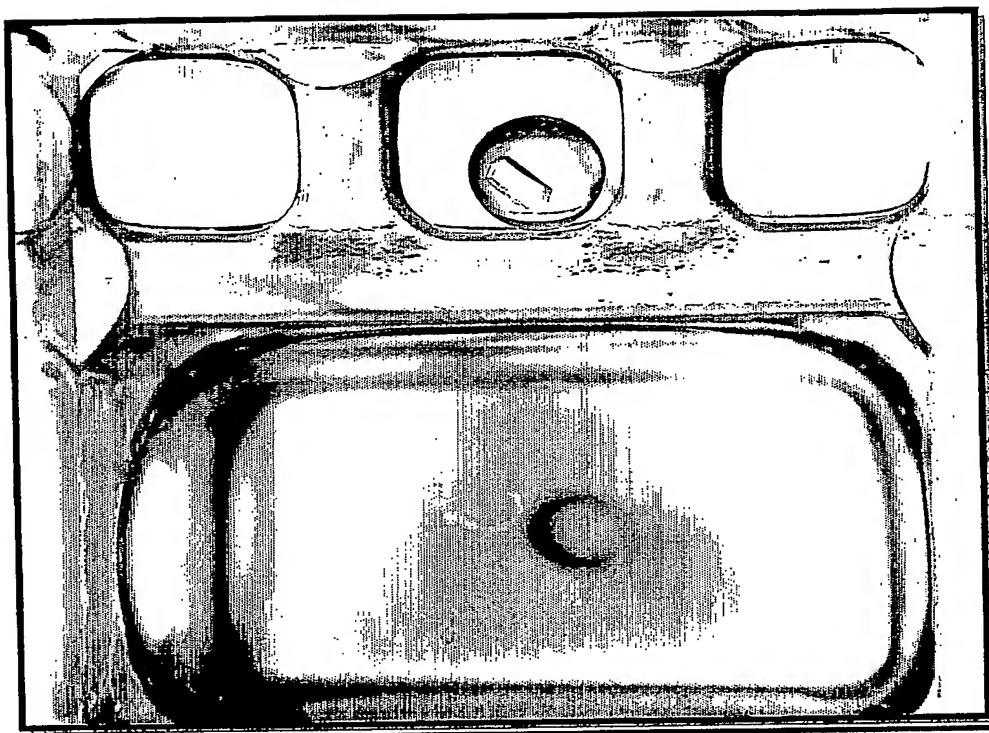
Figur 5

- 6/12 -



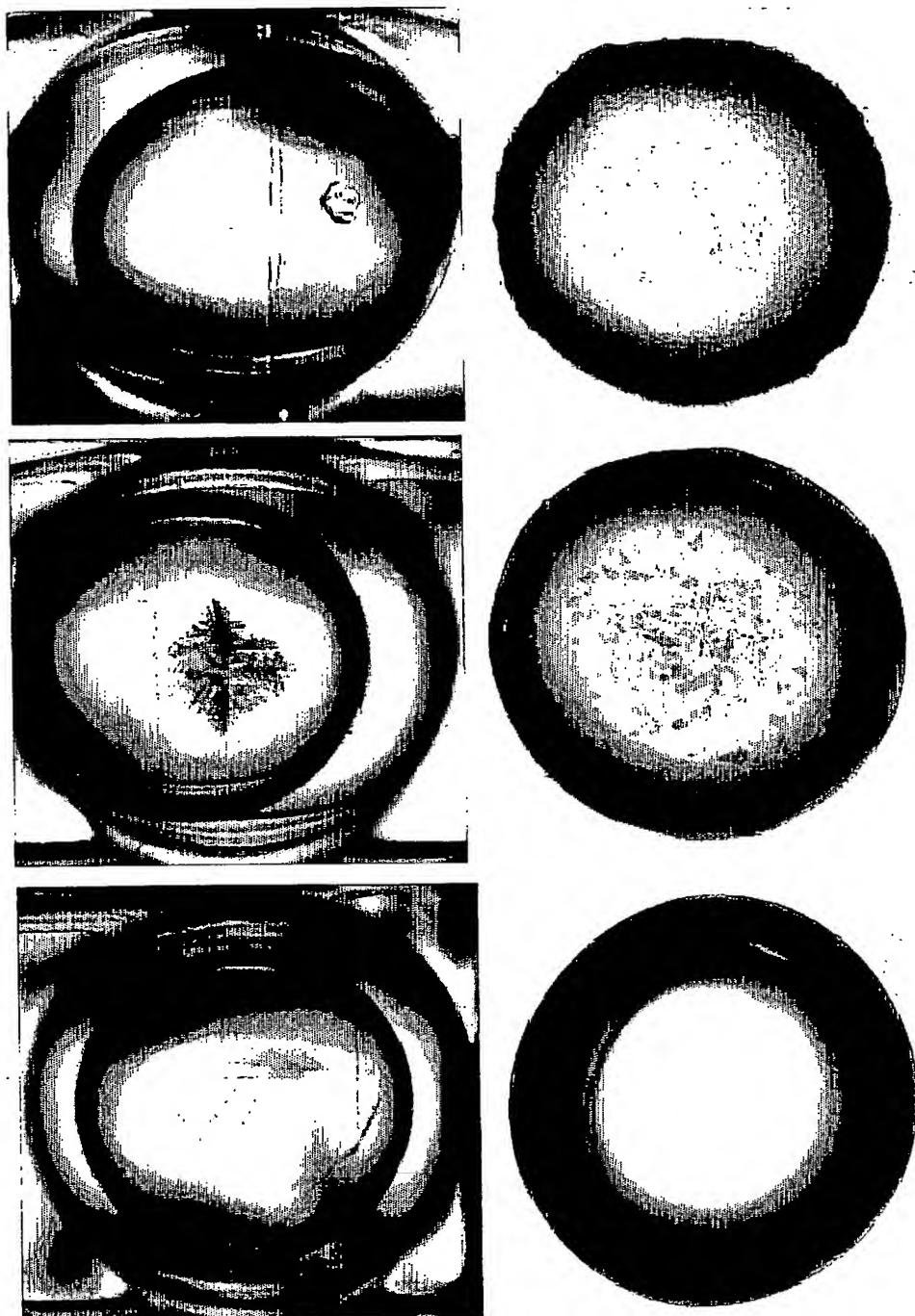
Figur 6

-7/12-



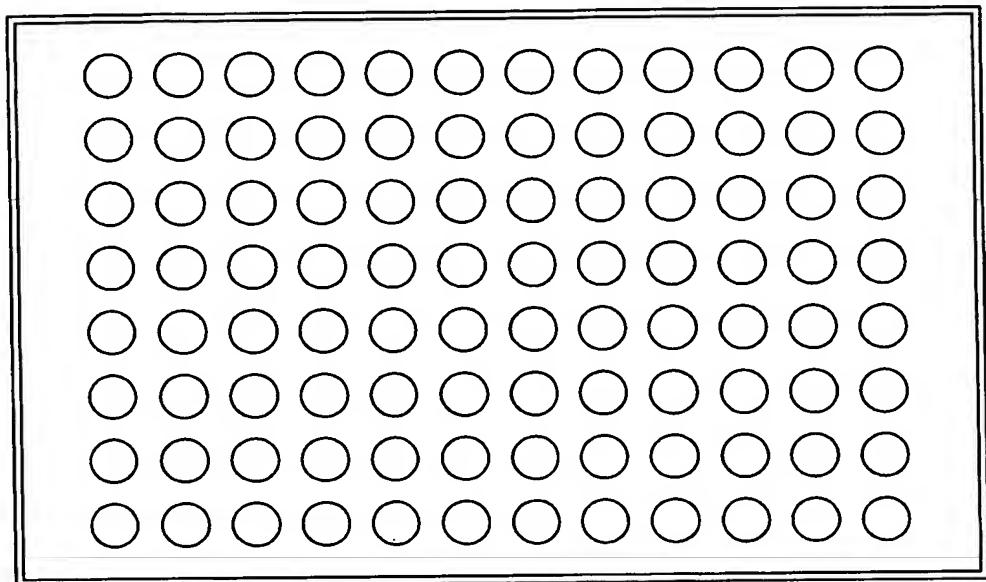
Figur 7

- 8/12 -

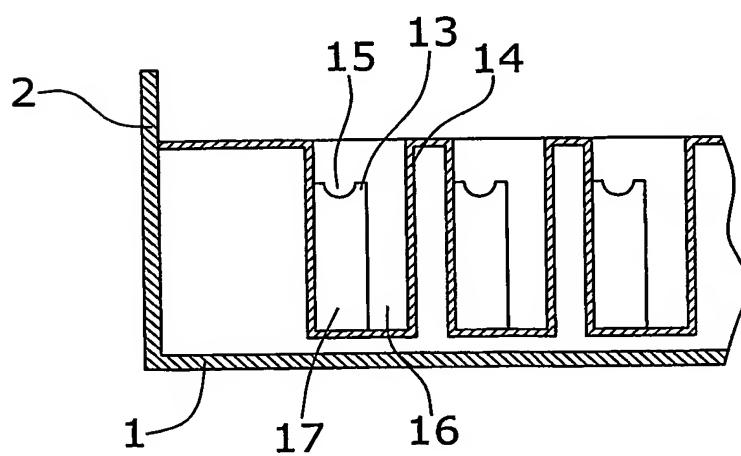


Figur 8

-9/12-

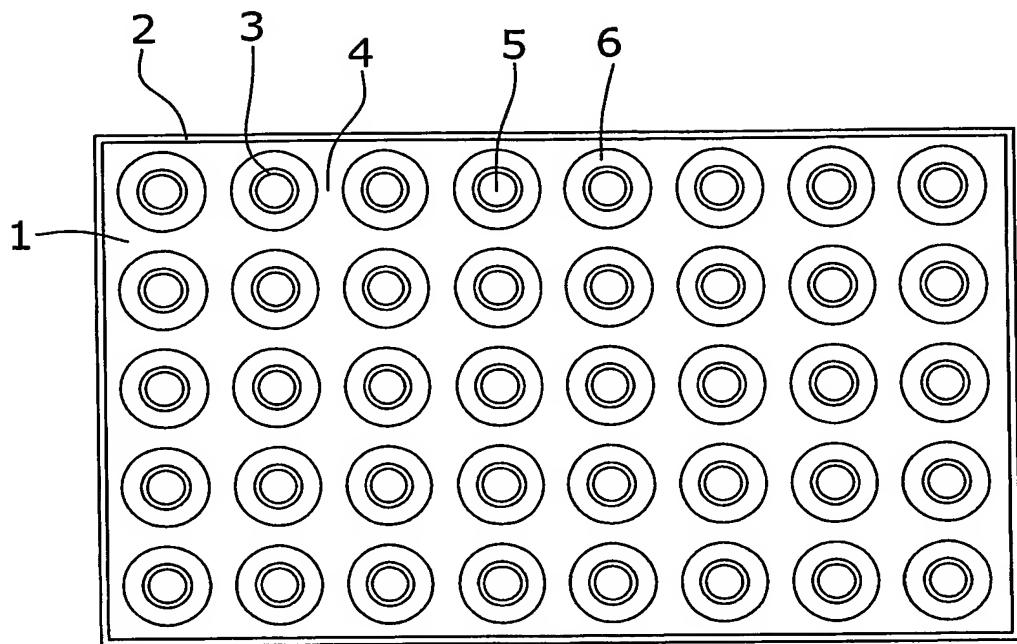


Figur 9

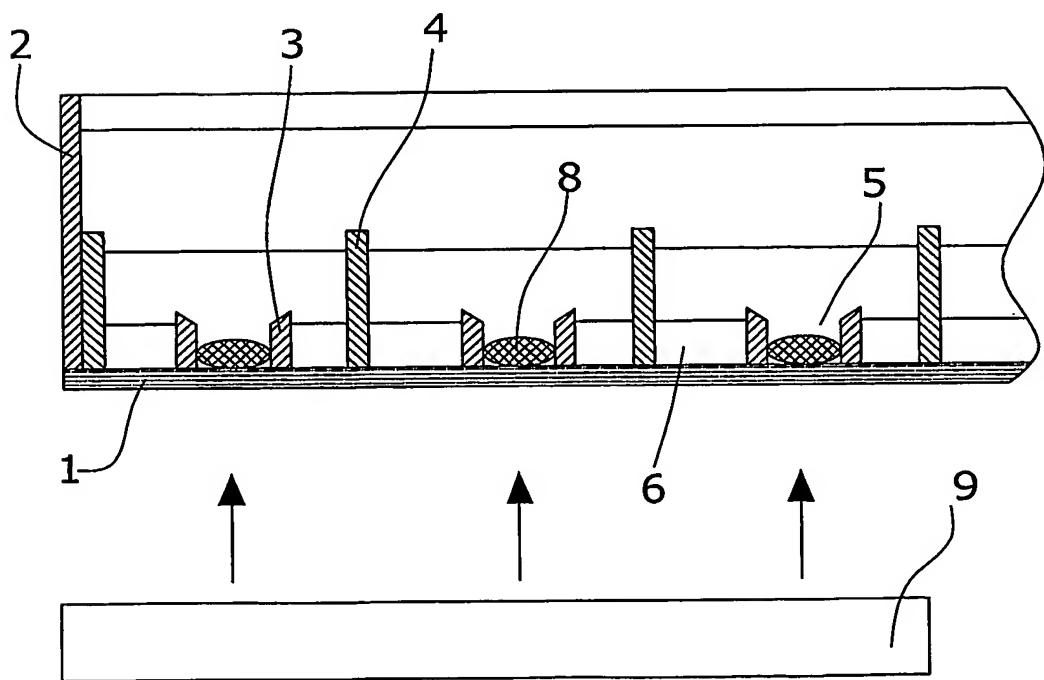


Figur 10

-10/12-

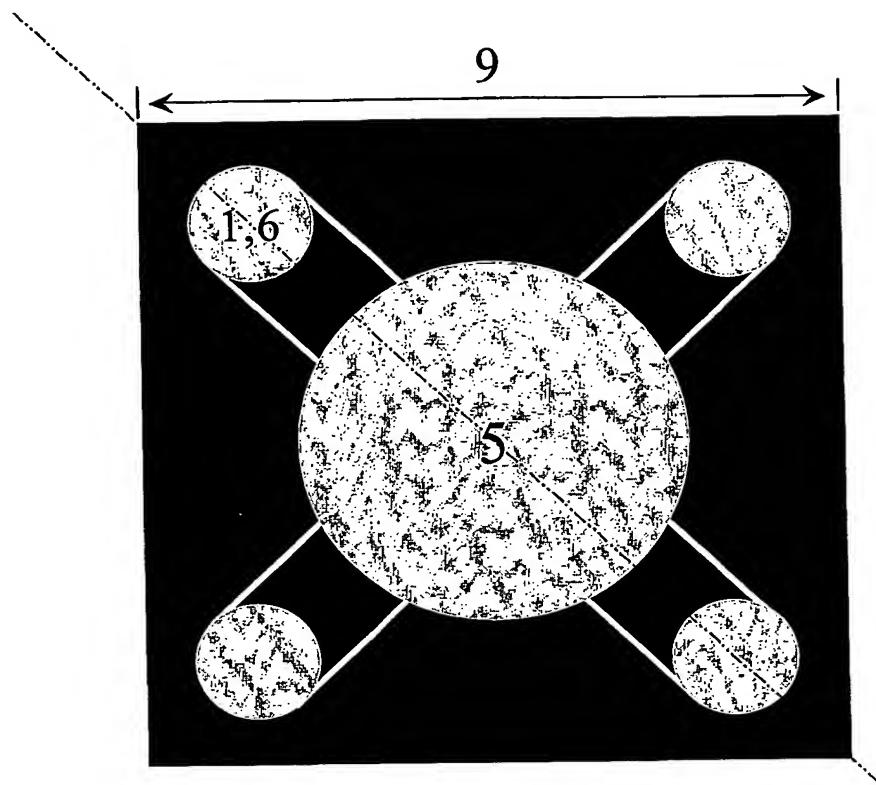


Figur 11



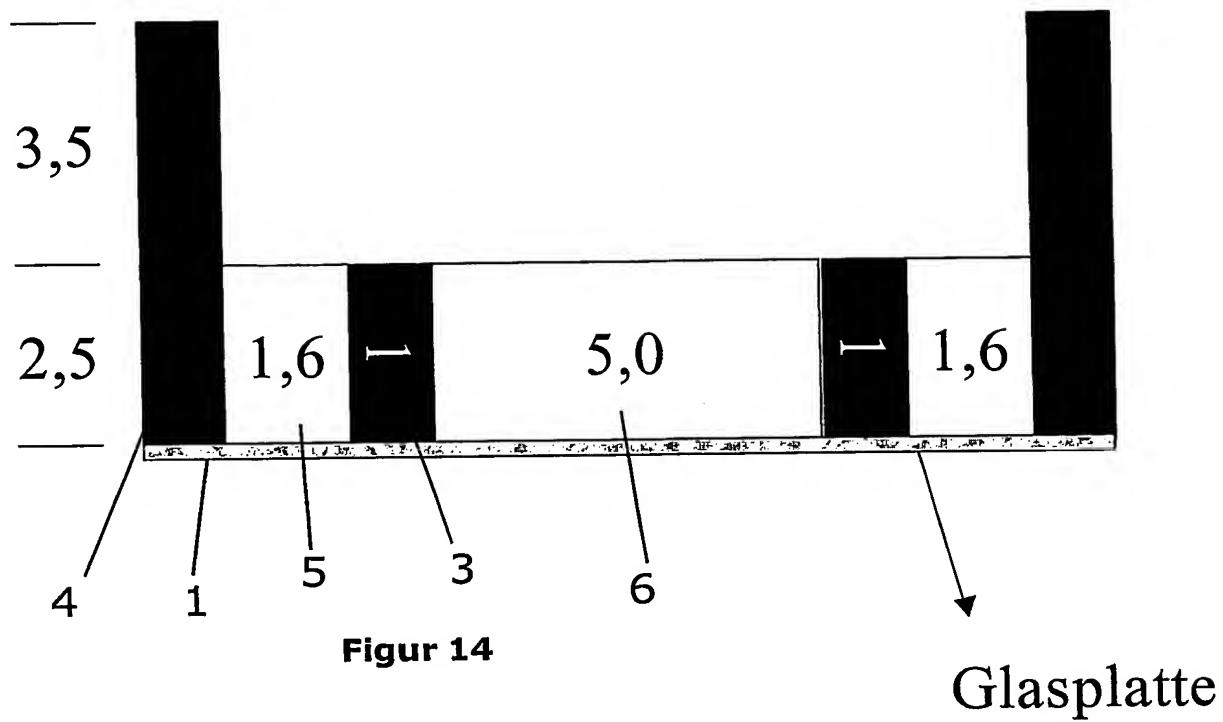
Figur 12

- 11/12 -



Figur 13

- 12/12 -



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 08369

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 B01D9/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 01/088231 A (UAB RESEARCH FOUNDATION) 22 November 2001 (2001-11-22) cited in the application claims 1,7; figures 1-3,6,7 -----	1,13
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1995, no. 05, 30 June 1995 (1995-06-30) & JP 07 053738 A (28-2-95), 28 February 1995 (1995-02-28) abstract -----	1
A	US 2001/002261 A1 (D.R.MORRISON ET AL.) 31 May 2001 (2001-05-31) the whole document -----	1

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the International filing date
- *L* document which may throw doubts on priority, claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

3 December 2003

Date of mailing of the International search report

12/12/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Bertram, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP/08369

Patent document cited in search report	Publication date		Patent family member(s)	Publication date
WO 0188231	A	22-11-2001	AU 6146401 A WO 0188231 A2 US 2003209187 A1 US 2002062783 A1	26-11-2001 22-11-2001 13-11-2003 30-05-2002
JP 07053738	A	28-02-1995	NONE	
US 2001002261	A1	31-05-2001	US 6387399 B1 US 5827531 A WO 9959555 A1 US 2001026812 A1 US 2001006679 A1 US 6099864 A US 6103271 A US 6214300 B1	14-05-2002 27-10-1998 25-11-1999 04-10-2001 05-07-2001 08-08-2000 15-08-2000 10-04-2001

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationaler Aktenzeichen

PCT/EP 08369

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 B01D9/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B01D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 01 88231 A (UAB RESEARCH FOUNDATION) 22. November 2001 (2001-11-22) in der Anmeldung erwähnt Ansprüche 1,7; Abbildungen 1-3,6,7	1,13
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 1995, Nr. 05, 30. Juni 1995 (1995-06-30) & JP 07 053738 A (28-2-95), 28. Februar 1995 (1995-02-28) Zusammenfassung	1
A	US 2001/002261 A1 (D.R.MORRISON ET AL.) 31. Mai 2001 (2001-05-31) das ganze Dokument	1

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, elne Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- *&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche	Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts
3. Dezember 2003	12/12/2003
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Bertram, H

INTERNATIONALES RECHERCHENBERICHT

Internationale Patentzeichen
PCT/EP 00/08369

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 0188231	A 22-11-2001	AU 6146401 A		26-11-2001
		WO 0188231 A2		22-11-2001
		US 2003209187 A1		13-11-2003
		US 2002062783 A1		30-05-2002
JP 07053738	A 28-02-1995	KEINE		
US 2001002261	A1 31-05-2001	US 6387399 B1		14-05-2002
		US 5827531 A		27-10-1998
		WO 9959555 A1		25-11-1999
		US 2001026812 A1		04-10-2001
		US 2001006679 A1		05-07-2001
		US 6099864 A		08-08-2000
		US 6103271 A		15-08-2000
		US 6214300 B1		10-04-2001

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.